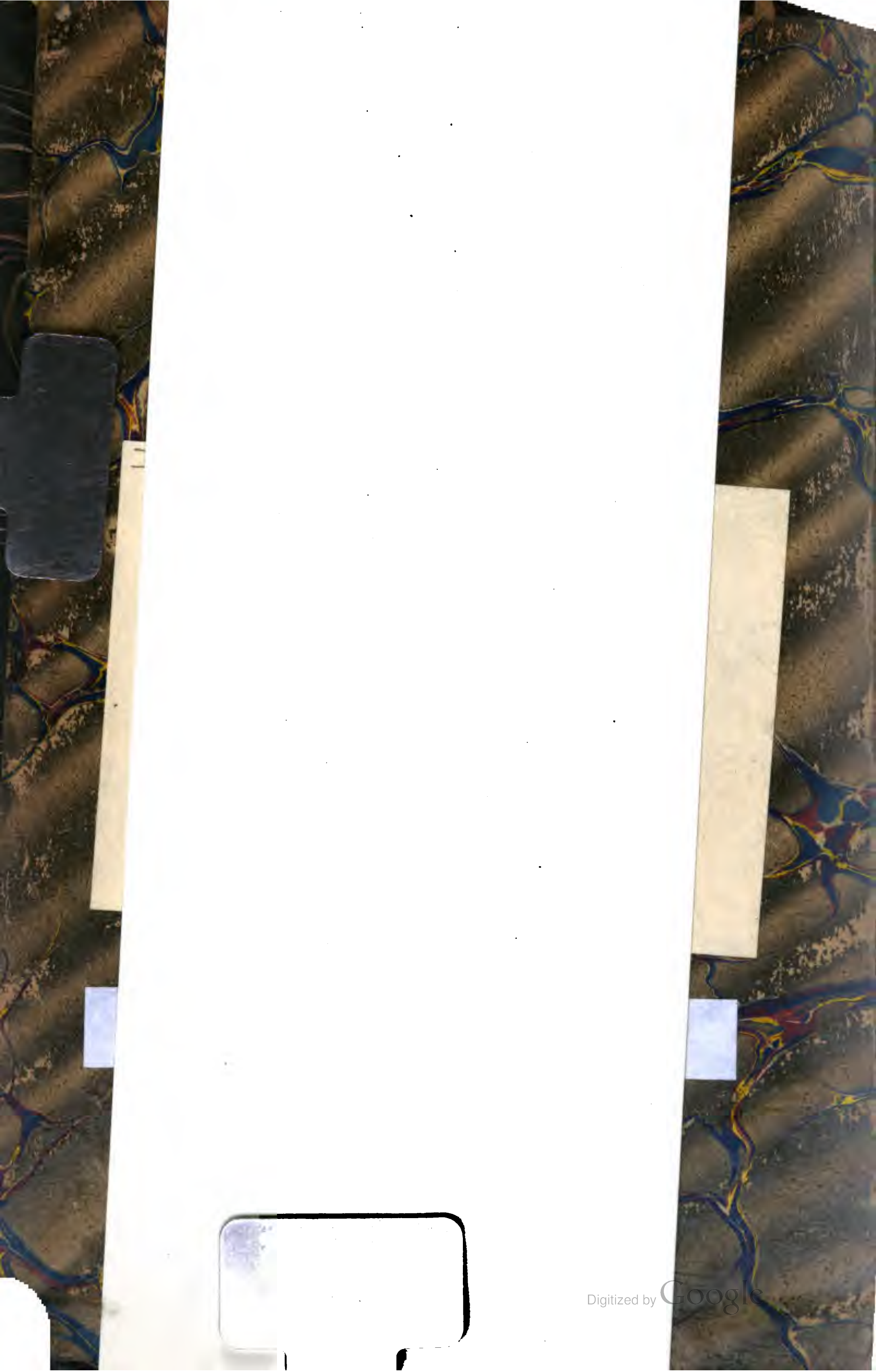
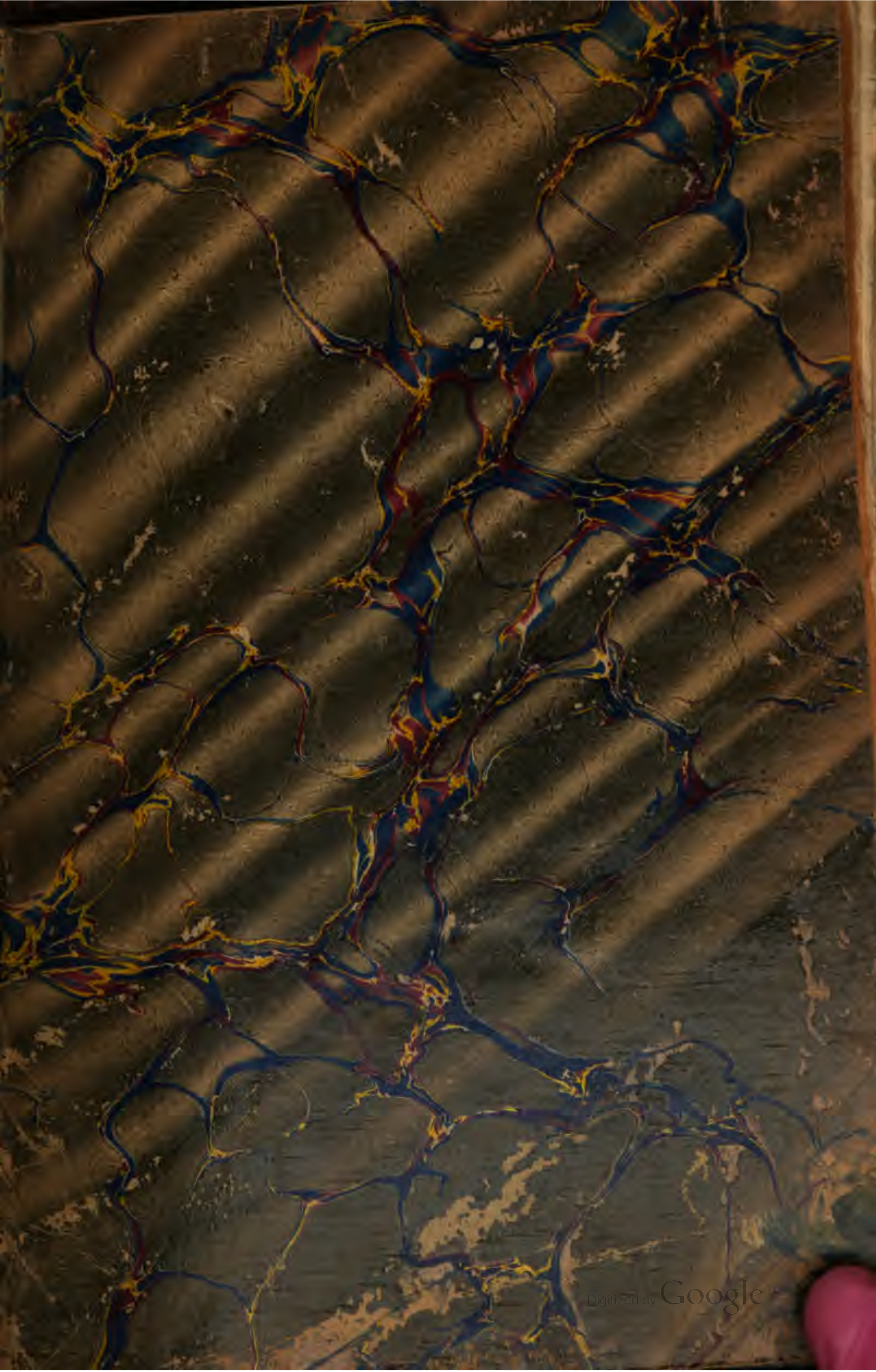








NOUVEAU SYSTÈME

DE

NAVIGATION.

IMPRIMERIE TYP. ET LITH. DE J.-A. BRASSAC, A CAHORS.

NOUVEAU SYSTÈME
DE NAVIGATION

FONDÉ

SUR LE PRINCIPE DE L'ÉMERGENCE DES CORPS RONDS

ROULANT SUR L'EAU.

HYDRO-LOCOMOTIVES

A GRANDE VITESSE, PORTÉES SUR DES CYLINDRES ROULANTS.

VOL A LA SURFACE DE L'EAU.

Par H. PLANAVERGNE,

Agrégé ès-sciences, professeur de mathématiques au Lycée impérial de Cabors.

. . . .
. . . .
Vel mare per medium, fluctu suspensa tumenti,
Ferret iter, celeres nec tingeret æquore plantas.
(VIRGILE.)

PARIS,

LIBRAIRIE NOUVELLE, 15, Boulevard des Italiens, en face de la Maison dorée.

1854.

AU LECTEUR.

Un cylindre homogène, ou formé de couches cylindriques homogènes, à axe horizontal, flotte sur l'eau. Si on lui imprime un mouvement de rotation, le frottement du liquide, que l'on peut rendre considérable par des saillies ou des aspérités, produit un mouvement de translation. De ce double mouvement résultent trois séries de forces qui font émerger le cylindre : 1° les frottements de l'eau ; 2° les frottements de l'air ; 3° les pressions exercées par l'eau sur la surface immergée du cylindre,

pressions bien différentes de ce qu'elles étaient dans l'état de repos.

Ces faits sont rigoureusement démontrés à la fin de ce mémoire, et constituent le principe fondamental d'un nouveau système de navigation.

Ce principe, que je désigne par le mot *émergence*, est un germe des plus féconds pour l'avenir de la navigation. Il fournit un moyen d'échapper à la loi du carré de la vitesse, en permettant d'avancer sur l'eau sans déplacer ce liquide. Par lui, la navigation reprendra la première place que les chemins de fer lui on enlevée.

Pour faire concevoir *à priori*, au lecteur, la vérité du principe et l'excellence des résultats qu'il doit fournir, je choisis un exemple des plus vulgaires.

La nature n'a pas doué l'homme d'organes favorables pour la nage. Cependant le nageur très habile soutient pendant longtemps le tiers de son corps hors de l'eau, malgré son poids spécifique plus grand que celui du liquide, et l'imperfection de ses organes relativement à la natation. Le nageur le plus habile est celui dont le corps émerge d'avantage.

L'imperfection des organes de l'homme relativement à la natation est telle, que certainement plus des neuf

dixièmes du travail de sa force musculaire sont perdus; de sorte qu'avec un appareil plus perfectionné, l'émergence pourrait être presque complète.

D'un autre côté, le travail des forces musculaires d'un homme n'est guère que le septième du travail d'un cheval-vapeur, et, dans l'état actuel de la mécanique industrielle, on peut avoir un appareil mu par la vapeur, qui, relativement au poids, donne quatre à cinq fois plus de travail que l'homme. Il est donc évident qu'on a beaucoup plus de ressources qu'il n'en faut pour appliquer le principe de l'émergence, et créer dès à présent un système de navigation dont les résultats seront prodigieux au point de vue actuel. J'espère que ce mémoire communiquera aux lecteurs ma conviction profonde à cet égard.

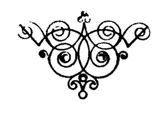
J'appelle l'examen le plus sérieux des ingénieurs et de tous les hommes compétents, sur ce travail dont le mérite tient à l'importance du sujet.

Les résultats sont si beaux et me paraissent si bien établis, que je ne doute pas du concours d'un grand nombre d'hommes dévoués au progrès, pour remplir la seco ndedes tâches que je me suis imposées : l'*Expérimentation*.

Quand même cette seconde tâche serait réservée à

d'autres, je me contenterai de l'honneur d'avoir attiré l'attention des hommes spéciaux sur un principe des plus féconds en conséquences majeures, et qui seul peut introduire dans la navigation des vitesses supérieures à celles des chemins de fer, vitesses qui sont devenues un véritable besoin dans l'époque actuelle.

Trois systèmes, le *glissement*, le *roulement sur l'eau* et le *vol à la surface de ce liquide*, pourront conduire à ce résultat. Je vais décrire le troisième qui me paraît le plus avantageux. Je donnerai à la fin de ce mémoire, quelques aperçus sur les deux premiers.



NOUVEAU SYSTÈME

DE

NAVIGATION.

Est-il possible, dans la navigation, d'échapper à la loi en vertu de laquelle la résistance de l'eau croît à peu près comme le carré de la vitesse?

Si c'est impossible, il faut se résigner à ne pouvoir dépasser des vitesses que l'on regarde maintenant comme excessivement petites, et à dépenser des quantités immenses de travail pour bouleverser l'eau du sillage. Après la découverte des chemins de fer, il faut admettre que la navigation restera toujours dans un état de très grande infériorité par rapport à la locomotion terrestre, tandis qu'elle avait naguère l'avantage sur cette dernière.

Le beau spectacle de l'humanité, surmontant chaque jour un obstacle qui arrêtait sa marche progressive, rend peu probable une hypothèse si décourageante. Cette probabilité diminue encore lorsqu'on remarque ce fait, qu'une grande découverte dans une des branches des connaissances humaines a été toujours suivie d'autres découvertes qui ont contribué au développement des branches voisines. Or, le progrès immense que les chemins de fer ont fait faire à la locomotion terrestre ne peut être accompagné d'un progrès équivalent dans la navigation, qu'autant qu'on pourra éluder cette loi. A cette condition seulement, la navigation pourra reconquérir son ancienne suprématie.

Le spectacle d'un projectile qui ricoche sur l'eau, dans un parcours plusieurs centaines de fois plus long que celui qu'il fournirait dans le liquide, si ce projectile était animé de la même vitesse initiale, me fit un jour entrevoir qu'il était possible d'éluder cette loi qui jusqu'ici avait paru fatale. Je compris qu'on devait pouvoir avancer sur l'eau sans déplacer le liquide; que la loi pouvait être ainsi complètement éludée, et qu'on ne trouverait plus d'autre obstacle sérieux à la vitesse, que la résistance de l'air, fluide 760 fois moins dense que l'eau. Pénétré de cette idée féconde, je me mis à la travailler avec opiniâtreté.

Un véhicule, porté sur de grands cylindres roulant sur l'eau, me parut remplir les conditions les plus favorables pour arriver au résultat que j'avais en vue. Alors, en comparant ce nouveau système à celui qui est en vigueur, il me parut offrir, pour la navigation, une transformation tout à fait analogue à la substitution des chars roulant sur des roues, aux traîneaux dont

l'homme a dû originairement se servir, et que l'on trouve encore en usage chez les peuples les moins avancés en civilisation.

Pour avancer sur l'eau, il me parut naturel de faire servir de propulseurs les cylindres destinés à servir déjà de roues. De là, l'idée d'entourer ces cylindres d'aubes engrainant avec le liquide. Alors je rencontrai une difficulté que je fus longtemps à surmonter. En vertu de la pression que l'atmosphère exerce sur la surface liquide, les cylindres en émergeant en arrière devaient faire le vide et soulever des masses d'eau. En effet, l'eau n'aurait pu sortir des espaces compris entre les palettes et la surface convexe des cylindres, qu'après que l'air aurait divisé la masse liquide; ce qui devait nécessiter un temps beaucoup trop long pour une marche rapide. Il y aurait alors eu, en arrière des cylindres, une succion semblable à celle qui s'exerce sur la poupe des vaisseaux; mais dans des proportions beaucoup plus considérables.

Après de longues réflexions, il me survint une idée heureuse que je croyais nouvelle, ce fut de limiter les espaces (*) compris entre les palettes par des couronnes circulaires formant le prolongement des bases des cylindres, et d'établir ainsi un

(*) M. Moudot de la Gorce, ingénieur en chef des ponts et chaussées, avait déjà employé une disposition semblable dans un appareil de navigation désigné sous le nom de *bateau roulant*. L'hydro-locomotive diffère de cet appareil par plusieurs points essentiels: Un des plus saillants, c'est que le bateau roulant avançait par l'effet du déplacement de son centre de gravité; tandis que dans l'hydrolocomotive, le centre de gravité reste fixe.

M. Michel Perret, constructeur à Lyon, a réclamé la priorité pour une partie de l'idée, dans une lettre insérée dans le feuilleton du 5 janvier 1854 du journal *La Presse*.

matelas d'air entre l'eau et les surfaces convexes des cylindres (*). Et comme, dans les oscillations, cet air se portant du côté de l'auge le plus élevé, aurait tendu à augmenter l'inclinaison, je fus conduit à cloisonner les auges occupant toute la longueur des cylindres, par des couronnes intermédiaires.

Alors je vis que j'avais obtenu un résultat plus grand que celui que je cherchais; car, en cherchant seulement à détruire la succion de l'eau sur la surface émergente des cylindres, j'avais encore évité l'adhérence du liquide. En réfléchissant sur les conditions dans lesquelles se trouvait placé le nouveau système de navigation, je vis, de la manière la plus claire, et à mon grand étonnement, que j'avais atteint un but auquel je n'aurais pas osé songer en commençant ces recherches; je vis que j'avais réalisé un véritable *vol à la surface des eaux,* et un vol établi dans les conditions les plus avantageuses.

En effet, les cylindres reposent sur un matelas d'air comprimé qui détruit à chaque instant le travail du poids du véhicule, et les palettes, d'une étendue très considérable, trouvent dans le liquide dense avec lequel elles engrainent, un appui *très résistant par son inertie,* ce qui rend très faible le travail *à vide,* c'est-à-dire le travail inutile; car les palettes entrent dans l'eau et émergent sensiblement à la même place; et les cylindres se déroulent sur la surface liquide. Le *vol à la surface de l'eau*

(*) Les espaces compris entre les palettes, ont ainsi la forme d'auges qui, dans le mouvement de rotation des cylindres flottant sur l'eau, plongent renversées, et restent en grande partie pleines d'air.

offre, en outre, une sécurité que l'on ne saurait rencontrer dans les régions atmosphériques.

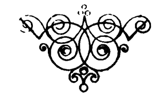
Tel est l'ordre d'idées dans lequel le nouveau système de navigation s'est présenté à mon esprit. L'approbation qu'il a eu de la part de plusieurs personnes compétentes me donne plus que l'espoir de lui procurer un grand nombre de partisans, en le vulgarisant au moyen de ce mémoire.

Pour soumettre ces idées à la sanction d'une expérience dont la réussite n'est pas douteuse pour moi, j'ai dressé les plans et les devis d'un grand nombre d'appareils variant de forme et de dimension, mais se rapportant tous à un même type pour lequel j'ai employé le nom d'*hydro-locomotive*. Je donne le nom d'*hydro-wagon* à des véhicules de même forme dans lesquels le moteur est supprimé et remplacé par des chargements d'un poids égal. Ces véhicules sont destinés à être remorqués, et à former des convois hydrauliques pareils aux convois des chemins de fer.

J'adresse ce travail aux lecteurs amis du progrès, non imbus d'idées routinières, et qui, voyant que tout progresse au tour d'eux, admettent que l'on est encore bien loin des résultats auxquels doit arriver la navigation. J'espère que par sa lecture ils seront convaincus qu'on peut voler à la surface de l'eau sans déplacer d'une manière sensible une quantité notable de ce liquide; que la résistance de l'eau, au lieu de croître à peu près comme le carré de la vitesse, diminuera au contraire très rapidement à mesure que la vitesse deviendra plus grande; que la vitesse de la navigation ne sera plus limitée que par la résistance de l'air, fluide 760 fois moins dense que l'eau; et que,

de cette façon, on réalisera en même temps une économie extraordinaire sur les frais de transport et sur le temps.

J'ai divisé l'exposé du nouveau système de navigation en deux parties : dans la première je traite de la navigation des fleuves et des rivières; la seconde comprend la navigation maritime.



PREMIÈRE PARTIE.

NAVIGATION

DES FLEUVES ET DES RIVIÈRES.

Plan et devis d'une hydro-locomotive de dimension moyenne, destinée au parcours des rivières.

Elle se compose :

1° De deux cylindres de trois mètres de long sur deux mètres de diamètre. Ils sont entourés de palettes de trois décimètres de tombée, dont les intervalles sont cloisonnés par des couronnes circulaires. Par ce moyen, la surface convexe de ces cylindres

est entièrement entourée d'auges qui plongeront renversées dans l'eau, et resteront en majeure partie pleines d'air ;

2° D'une caisse ou bateau couvert à fond plat légèrement relevé en avant et en arrière. Cette caisse est portée sur les extrémités des axes des cylindres. Un tambour raccordé avec la caisse recouvre en partie le cylindre antérieur. Un auvent en forme de plan incliné forme, en avant, le prolongement du tambour. Ce tambour et ce plan incliné sont destinés à affaiblir la résistance de l'air qui, dans le nouveau système, sera la résistance principale. Ils remplissent l'office d'une proue destinée à fendre l'atmosphère ;

3° D'un moteur tout à fait semblable au moteur d'une locomotive de chemin de fer à cylindres extérieurs. La chaudière tubulaire reposera longitudinalement sur le milieu du fond plat de la caisse : les deux cylindres moteurs seront placés sur les deux flancs de la caisse.

La figure 1 représente l'hydrolocomotive en élévation longitudinale ;

La figure 2 représente la section faite par un plan horizontal passant par les axes des deux cylindres. J'ai supprimé, à cause de la petitesse de l'échelle, les détails qui, dans la coupe, se rapportent au moteur et qui sont ceux d'une locomotive ordinaire.

Les figures 1 et 2 sont construites à l'échelle de 1 à 50. Les mêmes lettres représentent les mêmes parties dans les deux figures.

LÉGENDE.

AA....... Cylindres servant de roues et de propulseurs.

BB....... Axes des cylindres.

CC....... Couronnes circulaires.

DD....... Palettes. Dans la figure 1, elles sont marquées en profil par des lignes ponctuées, parce qu'elles sont cachées par les couronnes antérieures.

EE....... Châssis reposant, par des coussinets en bronze, sur les extrémités des axes des cylindres.

FF....... Caisse ou bateau plat reposant sur le châssis.

II........ Tambour raccordé avec le plafond et avec les parois latérales de la caisse.

JJ........ Auvent en forme de plan incliné. Des feuilles glissant dans des coulisses, permettent de prolonger l'auvent dans le sens de la ligne ponctuée (X,X). Cet appareil remplira dans l'air le rôle de proue.

GG...... Place du pilote conducteur.

H.H...... Corps de pompe.

K.K...... Tiges des pistons, guidées par des coulisses situées dans le châssis.

LL....... Bielles imprimant un mouvement de rotation aux manivelles du cylindre antérieur.

M, M, M,.. Manivelles des cylindres. Leur mouvement est rendu solidaire au moyen des bielles NN... — Aux points morts des manivelles de gauche, correspondent les

points de maximum de force des manivelles de droite ; c'est-à-dire que les manivelles sont croisées à angle droit. Une manivelle intermédiaire M'M' empêche chacune des bielles de fléchir ; ce qui pourrait avoir lieu à cause de leur longueur.

PP .... Ligne de flottaison au repos.

P'P'...... Ligne de flottaison au maximum de vitesse (plus de 20 lieues à l'heure), c'est-à-dire lorsque la vitesse sera devenue constante.

Le dessin fait voir que les couronnes limites, qui forment le prolongement des bases des cylindres, ont une saillie d'un décimètre au delà des palettes. Cette disposition extrêmement importante, comme je le ferai voir, sera adoptée dans certains cas pour les couronnes intermédiaires qui cloisonnent les intervales compris entre les palettes et la surface convexe des cylindres.

DES CHANGEMENTS DE DIRECTION.

Le pilote assis sur son siége, dominant de la vue le tambour de la locomotive peut, au moyen de manettes à la portée de sa main, donner, intercepter, modérer la vapeur, ou bien la faire travailler contre la vitesse acquise (mouvement en arrière). Il doit en outre pouvoir changer, avec la plus grande facilité, la direction de la marche. Voici comment on obtiendra ce résultat :

Les bases planes des cylindres éprouveront de la part de l'eau

une résistance au mouvement latéral, et n'en éprouveront presqu'aucune au mouvement direct. La saillie d'un décimètre que j'ai donnée aux couronnes latérales, en dehors des palettes, a pour but d'augmenter considérablement cette résistance. Ces saillies rempliront complètement le rôle d'une quille, pour les changements de direction. Ce n'est pas là leur seule utilité comme nous le verrons plus tard.

Cela posé, il y aura plusieurs moyens pour opérer les changements de direction. Je vais en décrire deux qui atteindront parfaitement le but.

L'un deux consiste à placer sur le devant de la locomotive (à cause de la place du pilote), devant ou derrière le cylindre antérieur, une plaque plane et verticale, portée par une tige verticale. Cette plaque sera soutenue hors de l'eau par un ressort ou par un contrepoids. Pour changer la direction, le pilote pressera sur la tige, directement ou par un jeu de leviers : il plongera ainsi la plaque dans l'eau, obliquement vers la droite, ou obliquement vers la gauche, suivant la direction qu'il voudra imprimer. On voit que cet appareil n'est autre chose qu'un gouvernail qui est tenu hors de l'eau tant qu'il n'est pas employé.

Le second moyen consistera en deux plaques beaucoup plus petites, ayant une direction perpendiculaire à la vitesse, placées l'une et l'autre sur chaque flanc du véhicule, et tenues ordinairement hors de l'eau. Suivant que le pilote voudra changer la direction vers la droite ou vers la gauche, il enfoncera dans l'eau la plaque de droite ou la plaque de gauche. L'une de ces plaques,

plongée dans l'eau, fournira un point d'appui autour duquel la locomotive tendra à tourner; et les bases planes des cylindres, remplissant l'office d'une quille, empêcheront le véhicule de dériver trop fortement dans le sens de la vitesse acquise. (Le véhicule *tournera d'autant plus court*, que la plaque et les saillies des couronnes extérieures offriront plus de surface.)

J'avais d'abord imaginé l'emploi d'une quille mobile. J'ai renoncé à ce moyen trop compliqué et moins approprié que les saillies des couronnes circulaires qui la remplaceront avec avantage.

Je donne plus loin un troisième moyen plus avantageux et plus simple pour les changements de direction des convois remorqués par une hydro-locomotive.

DEVIS.

Pour ne pas fatiguer le lecteur de détails peu utiles, et pour ne pas dépasser les bornes que je me suis imposées dans ce travail, je vais simplement consigner les résultats auxquels je suis parvenu, me contentant de donner de très courtes explications dans quelques renvois. Voici ces résultats :

Poids des deux cylindres (*) .... 1,200 kil.

A reporter .... 1,200 kil.

(*) Je construis les surfaces des cylindres, les palettes et les couronnes circulaires en tôle de fer d'un millimètre d'épaisseur.

Ces surfaces présenteront une résistance plus que suffisante : En effet,

Report...........	1,200 kil.
Poids du châssis, de la caisse, du tambour et du plan incliné (*)...........................	800
Poids du moteur, d'une puissance de 40 chevaux (**)..	4,000
TOTAL.................	6 tonnes.

les deux matelas d'air qui supporteront le véhicule, auront en somme une aire de six mètres carrés. Le poids du véhicule étant de six tonnes, l'air de ces matelas aura une force élastique qui, en moyenne, ne surpassera la pression atmosphérique, que d'un dixième d'atmosphère c'est à dire d'une quantité équivalente à la pression d'une couche d'eau d'un mètre d'épaisseur. (En d'autres termes, la résistance des parois des auges ne devra pas être de beaucoup plus grande que celle des parois d'un vase de même forme, qui devrait contenir de l'eau à une hauteur d'un mètre au-dessus du fond.) Les palettes qui, par leur étendue et la forme plane de leur surface, seraient de nature à fléchir les premières, auront à supporter dès pressions contraires qui se détruiront en majeure partie. Il en sera de même des couronnes intermédiaires. Il est donc certain, comme je l'ai affirmé, que la solidité sera bien plus grande que celle qui serait strictement nécessaire.

(*) Le châssis, en madriers de sapin bordés de fer, supporte la chaudière et la caisse qui est formée d'un grillage revêtu extérieurement en tôle très mince. Une tôle plus épaisse forme un double fond servant de parquet à la caisse.

Le tambour et le plan incliné consistent en une toile légère tendue sur un léger châssis.

(**) Une locomotive de Stephenson, de 60 à 70 chevaux, approvisionnée pour la marche, pèse douze tonnes. En enlevant l'appareil de support, presque en entier de fer massif, le poids restant pèse moins de huit tonnes. Or, la chaudière que j'emploie ne doit fournir qu'un peu plus de la moitié de la vapeur fournie par la chaudière de Stéphenson. En outre, le poids des chaudières augmente beaucoup plus rapidement que la quantité de vapeur qu'elles fournissent. Ces considérations prouvent que le poids que j'ai admis pour le moteur sera suffisant.

Au reste, j'ai admis l'emploi d'un générateur de vapeur usité dans les

Ainsi on aura à traîner 150 kil. par puissance de cheval. Il y aura une puissance disproportionnée avec la charge brute à traîner, et la vitesse serait énorme. Je vais dire comment on pourra utiliser cet excès de puissance en conservant une vitesse de 20 lieues à l'heure. On pourrait faire servir cet excès de puissance au transport d'une charge placée sur l'hydro-locomotive ; mais il sera beaucoup plus avantageux d'adopter le moyen suivant : en supprimant le moteur et le plan incliné servant de proue à l'hydro-locomotive, on aura de simples véhicules de transport du poids de deux tonnes chacun, que je désignerai par la dénomination d'*hydro-wagon*. Un certain nombre de ces véhicules remorqués par une locomotive, porteront le chargement personnel et matériel. Un convoi, ainsi remorqué par une hydro-locomotive, présentera une grande analogie avec un convoi de chemin de fer ; de sorte que les rivières du plus faible tirant d'eau rempliront l'office de larges chemins de fer, à voies multiples, tout formés par la nature, exempts de frais d'entretien et de surveillance, et à l'abri des accidents qui résultent du déraillement.

chemins de fer ; parce que j'ai cherché à éviter toutes les objections qui auraient pu être faites par suite de l'adoption d'un système qui n'aurait pas été sanctionné par la pratique. Mais il est certain que les générateurs des locomotives des chemins de fer ne sont pas ceux qui, pour fournir une quantité donnée de vapeur, présentent le poids le moins lourd. Des appareils plus récents, et par suite moins connus, réalisent une économie de poids très considérable. Dans les locomotives des chemins de fer, on a peu d'intérêt à chercher à réduire un poids qui est nécessaire pour l'adhérence avec les rails. Il en est autrement de l'hydro-locomotive, dans laquelle l'adhérence provient des palettes qui engrainent avec l'eau.

RÉSULTATS AVANTAGEUX PROVENANT DE L'EMPLOI DE L'HYDRO-LOCOMOTIVE DÉCRITE.

Je vais d'abord exposer les avantages qui résulteront de l'emploi du nouveau système ; j'en démontrerai ensuite la réalité.

L'hydro-locomotive que je viens de décrire étant au repos, les deux tiers de son poids seront portés par les cylindres, et le troisième tiers sera porté par la caisse, dont le tirant d'eau sera d'un décimètre et demi.

Aussitôt que le pilote aura livré passage à la vapeur, la locomotive partira d'un mouvement accéléré. A mesure que sa vitesse augmentera, l'eau réagira avec une intensité de plus en plus forte, sur les grandes surfaces des cylindres, au moyen de l'air comprimé sous les cylindres roues. La locomotive émergera de plus en plus, et la résistance de l'eau ira en diminuant rapidement ; ce qui facilitera l'accélération (*). Bientôt la caisse sera soulevée entièrement au dessus de l'eau, et il n'y aura plus aucun glissement de l'eau contre la surface du véhicule ; car les cylindres se dérouleront sur la surface liquide, les palettes seules plongeant en partie dans l'eau, et émergeant sensiblement à la même place.

Mais en même temps que l'accélération deviendra plus grande, et que la résistance de l'eau diminuera, la résistance de l'air

(*) A mesure que la vitesse augmentera, les auges se rempliront de plus en plus d'air ; ce qui favorisera l'émergence.

s'accroîtra de plus en plus ; et il arrivera bientôt un moment où tout le travail utile du moteur, sera entièrement détruit par le travail résistant de l'air, par le travail résistant de l'eau, et par les frottements. Dès ce moment, la vitesse sera devenue constante, et l'hydrolocomotive s'avancera avec une rapidité qui dépassera 20 lieues à l'heure. Durant ce mouvement, le fond de la caisse sera élevé de trois décimètres au-dessus de la surface liquide, et les palettes ne plongeront que d'un décimètre tout au plus au dessous de la surface de l'eau. Aucune surface ne glissera contre l'eau.

Il résulte de ce qui précède, que la locomotive pourra parcourir les cours d'eau d'une profondeur très faible. Elle pourra même passer sur les sables à peine baignés, sables dans lesquels pénétreront facilement les bords tranchants des palettes et des couronnes circulaires. Elle franchira aussi sans inconvénient des graviers presque découverts, si on donne aux couronnes circulaires et aux bords des palettes une force suffisante. Dans le cas ou l'hydrolocomotive aura à franchir de tels passages, il conviendra de donner aux couronnes intermédiaires une saillie égale à la saillie des couronnes extérieures. Ainsi, dans le nouveau système, les rivières les plus faibles deviendront navigables dans toutes les saisons Nous verrons plus tard que les hydrolocomotives de la plus forte dimension, même celles qui seront employées au parcours des mers, remonteront des rivières très peu profondes, et qu'on pourra établir des communications directes entre la plupart des villes du globe.

Les cylindres-roues portant l'hydrolocomotive serviront en

même temps de propulseurs bien plus avantageux qu'aucun propulseur employé jusqu'à ce jour dans la navigation. Je prouverai que ces propulseurs convertiront presque tout le travail moteur en travail utile, et qu'ils équivaudront presque à des roues adhérentes sans frottement.

En descendant et en remontant les rivières les plus rapides, l'hydrolocomotive marchera à très peu de chose près avec la même rapidité; car la résistance de l'eau diminue à mesure que la vitesse du véhicule relative au courant augmente. Si, en remontant, il y a un peu de travail inutile ou *à vide*, en compensation, la résistance de l'eau sera plus faible. Je ne parle que pour mémoire de la pente qui est une condition négligeable toutes les fois qu'il ne s'agit pas d'un torrent.

Le matelas d'air sur lequel sera portée l'hydro-locomotive, sera pour elle un ressort parfait, qui amortira le choc accidentel des vagues en affaiblissant la perte de travail résultant de ces chocs, et qui rendra les mouvements du véhicule aussi doux pour les voyageurs que s'ils étaient portés dans la nacelle d'un ballon.

Les barrages ne seront pas un obstacle au nouveau système de navigation. Je ferai voir que les hydro-locomotives, roulant sur des rampes en madriers de bois disposées sur ces barrages, les franchiront avec la plus grande facilité, en vertu de la vitesse acquise et de la puissance impulsive du moteur.

Tous ces avantages seront vrais pour les convois remorqués par une ou deux hydro-locomotives, comme pour les locomotives isolées.

Le nouveau système présentera une sécurité bien plus grande que les chemins de fer quoique la vitesse soit supérieure.

Pour l'économie dans le transport, je prouverai qu'il est extrêmement probable qu'elle dépassera celle que l'on obtiendrait avec les chemins de fer, s'il ne fallait pas, dans ce cas, tenir compte des intérêts et de l'amortissement d'un capital énorme. J'espère, par la rigueur des démonstrations, convaincre les lecteurs de la vérité de tous les faits que je viens d'énumérer.

PRINCIPE FONDAMENTAL DU NOUVEAU SYSTÈME DE NAVIGATION.

1° *L'émergence des cylindres augmentera très-rapidement avec la vitesse ;*

2° *La résistance de l'eau diminuera très-rapidement à mesure que la vitesse du véhicule deviendra plus grande, et elle tendra vers zéro ;*

3° *Le nouveau système de navigation est un véritable vol à la surface de l'eau : et ce vol est établi dans les conditions les plus avantageuses.*

Ces trois propositions sont étroitement liées entr'elles. Comme elles sont la base du nouveau système, et comme tous les résultats que j'ai précédemment énumérés en sont la conséquence rigoureuse, je vais les démontrer par des expériences et par le calcul.

Lorsqu'un projectile animé d'une grande vitesse frappe l'eau sous un petit angle, il trouve dans le liquide une résistance assez énergique pour le faire dévier de sa direction ; il ricoche.

Si l'angle est sensiblement nul, et si la surface de l'eau est unie, il court effleurant à peine la surface liquide, et trace un sillon rectiligne plusieurs centaines de fois plus long que le parcours que le projectile fournirait dans le sein de la masse..

Chacun peut répéter l'expérience suivante : Que l'on charge un fusil d'une balle, qu'on le décharge après avoir mis le canon près de la surface d'une nappe d'eau tranquille, dans une position parallèle à cette surface ; le coup parti, on verra la balle tracer sur la surface de l'eau, à perte de vue, une longue ligne droite. Qu'on recharge le fusil, et qu'on lance la balle sous un angle suffisant pour qu'elle pénètre dans l'eau ; sa vitesse sera amortie avant qu'elle ait parcouru dans l'eau une distance de deux mètres.

Un corps courant avec assez de vitesse sur la surface de l'eau peut donc trouver dans le liquide un appui capable de le faire émerger pour ainsi dire totalement, et de rendre insensible la résistance du liquide ; car, si dans l'expérience précédente le sillon tracé par la balle avait une profondeur sensible, la force vive du projectile serait bien vite absorbée par l'eau déplacée avec une vitesse énorme, et le parcours serait très limité ; tandis qu'en réalité, je l'ai trouvé plus grand que le parcours fourni par la balle sous un angle approchant de celui qui peut donner à la trajectoire du projectile la plus grande amplitude (angle de 45°).

Je viens de considérer un projectile dont la vitesse initiale était de dix à vingt fois plus grande que celle que j'ai d'avance assignée à l'hydro-locomotive : je vais maintenant prendre pour

terme de comparaison un projectile dont la vitesse est inférieure à celle de 20 lieues à l'heure (22 mètres par seconde).

Peu d'hommes sont capables de lancer une pierre à une hauteur de vingt mètres, ou, ce qui revient au même, d'imprimer à une pierre une vitesse initiale de vingt mètres (*); néanmoins, tout le monde peut faire ricocher une pierre à la surface de l'eau. Chaque lecteur se rappellera sans doute avoir fait cette expérience dans son jeune âge, et il se rappellera aussi avoir remarqué ce fait important pour la conclusion que j'en veux déduire : Souvent la pierre, après avoir fait plusieurs ricochets de plus en plus rapprochés, trace, avec une lenteur extrême, un sillon assez long, soutenue à la surface par la réaction que l'eau offre sous une vitesse qui évidemment ne dépasse pas un mètre par seconde. Certainement la pierre émerge en majeure partie pendant cette course; car, que l'on essaie de lui faire parcourir en projection horizontale, dans la masse liquide, un espace égal à celui qu'elle parcourt portée par l'eau; une vitesse cent fois plus grande ne suffirait pas (**).

J'espère que ces expériences paraîtront concluantes. Voici maintenant la démonstration théorique :

L'explication des phénomènes que je viens de décrire, et la démonstration du principe fondamental découlent des lois sui-

(*) Un projectile qui est lancé verticalement avec une vitesse initiale de vingt mètres, s'élève à une hauteur de 20 mètres.

(**) Des expériences ont prouvé que dans un liquide, la résistance à la surface, ou près de la surface, est plus grande que dans l'intérieur de la masse, loin de la surface.

vantes que j'emprunte à la mécanique ; 1° La force qui, dans un temps donné très petit, imprime à une masse donnée une certaine accélération, est exprimée par la formule $F = M \frac{d.v}{d.t}$; c'est-à-dire que la force est en raison directe de la masse ou du poids, en raison directe de l'accroissement de vitesse, et en raison inverse de l'accroissement du temps ; 2° La réaction est toujours égale à l'action.

On sait, en outre, que l'eau est un fluide dense, presqu'incompressible, et dont les molécules très-mobiles ont une certaine adhérence réciproque. En vertu de ces lois, le projectile qui, animé d'une grande vitesse, frappe la surface de l'eau, tend à imprimer aux couches d'eau qui se trouvent en contact avec sa surface antérieure, une vitesse égale à celle dont il est lui-même animé, et cela dans un instant inappréciable. A cause de l'incompressibilité et de l'adhérence des molécules du liquide, cette vitesse tend instantanément à s'étendre aux couches voisines dans un rayon considérable. Il en résulte donc une réaction énorme capable de faire dévier le projectile mieux que celle qui résulterait de la résistance d'un grand nombre de corps solides plus compressibles que l'eau.

Celà posé, je vais calculer une limite supérieure de la dépression que subira la surface liquide sous les cylindres de l'hydrolocomotive que je suppose, pour fixer les idées, animée d'une vitesse de 20 lieues à l'heure (22 mètres par seconde).

Chacun de ces cylindres sera porté par un matelas d'air comprimé de trois mètres de long sur un mètre de large (*). Parcon-

(*) La largeur est comptée dans le sens du mouvement (voir la ligne de

séquent sous le passage des cylindres, la surface de l'eau ne sera pressée que pendant $^1/_{22}$ de seconde, instant qui est tout à fait inappréciable. La pression produite par le poids de la locomotive (ce poids est égal à 6 tonnes), qui est portée sur un matelas d'air comprimé de six mètres carrés de base, est équivalente en moyenne à un dixième d'atmosphère, ou à la pression d'une couche d'eau d'un mètre d'épaisseur.

On voit par là que le problème revient à celui-ci : Une table de trois mètres de long sur un mètre de large repose sans pression à la surface de l'eau. Elle est entourée d'un rebord vertical qui plonge dans l'eau, savoir : de deux décimètres sur les petits côtés, et d'un décimètre sur les grands côtés. A un instant donné, on exerce sur cette table, une pression d'un dixième d'atmosphère pendant $^1/_{22}$ de seconde : Trouver une limite supérieure de la dépression qu'aura subie la surface de l'eau subjacente au bout de cet instant?

Plusieurs causes s'opposent à la grandeur de cette dépression. Je vais les négliger toutes, excepté l'une d'elles ; et cette cause dont je vais tenir compte n'est pas la cause prépondérante (*).

flottaison P' P'). La valeur de la limite cherchée dépend très peu de cet élément : Car si la largeur était plus grande, la durée de la pression le serait également ; mais la pression serait plus faible, le poids du véhicule étant porté sur une base plus large. En outre le déplacement de l'eau subjacente aurait une plus grande amplitude.

(*) La cause prépondérante de l'émergence provient de la pression qui se transmet de couche en couche, jusqu'au sol sur lequel repose la masse liquide presque incompressible. En vertu du principe de mécanique qu'une action produit toujours une réaction égale et contraire, cette pression donne

De sorte que j'obtiendrai ainsi une limite qui sera plusieurs fois plus grande que la dépression réelle ; et néanmoins cette limite suffira pour la démonstration du principe fondamental. Cette cause s'opposant à l'amplitude de la dépression, la seule dont je vais tenir compte, c'est la *résistance d'inertie* de l'eau déplacée : je vais considérer la masse de ce liquide comme si elle était libre.

La table, en se déprimant, communiquera son mouvement à toute l'eau contenue entre les rebords. En outre, en vertu de l'adhérence réciproque des couches d'eau, le mouvement s'étendra à une certaine profondeur dans la masse subjacente. Il s'étendra aussi tout autour de la table, parce que l'eau est sensiblement incompressible, et que la surface de l'eau ne peut être déprimée quelque part, sans être soulevée dans le voisinage.

Maintenant je vais admettre un fait qui, je l'espère, paraîtra au dessous de la réalité : je vais admettre que le poids de l'eau mise en mouvement par la dépression de la table, est égal à la pression totale exercée sur la table ; ce qui revient à supposer

lieu à une résistance qui détruit la majeure partie du travail de la pression exercée sur la table. Dans le calcul de la limite, j'ai été obligé de négliger cette résistance, quoiqu'elle soit prépondérante, parce qu'elle dépend des forces moléculaires dont la loi est inconnue, et que, dans l'état actuel de la science, la solution du problème aurait été impossible. Par une considération semblable, j'ai négligé le changement de direction du liquide déplacé, ainsi que le soulèvement d'une masse d'eau autour de la table ; causes d'où résulte également une absortion notable du travail de la pression. Ainsi il me paraît exrêmement probable que la dépression réelle n'est pas la dixième partie de cette limite.

que le déplacement s'étend environ à 5 décimètres au dessous de la surface ou à 3 décimètres au-dessous du niveau de la partie inférieure du rebord (*). Dans ces conditions simples, le calcul de la limite revient à trouver l'espace qu'un corps, partant du repos, parcourt dans $^1/_{22}$ de seconde. Les lois de la pesanteur donnent un centimètre (**). Ainsi je trouve pour limite supérieure de la dépression, limite très-éloignée de la dépression réelle de la surface de l'eau sous le parcours des cylindres de l'hydro-locomotive, une valeur d'un centimètre seulement. Les mêmes lois fournissent pour limite supérieure de la vitesse finale moyenne de la masse d'eau déplacée, 45 centimètres par seconde; ce qui est une limite excessivement faible, et néanmoins bien au-dessus de la réalité.

D'après les résultats fournis par le calcul et par l'expérience, je me crois en droit de conclure que, sous une vitesse de 20 lieues à l'heure, *les cylindres émergeront pour ainsi dire totalement, et que la résistance de l'eau sera presque nulle* (***).

(*) Le déplacement d'une certaine quantité d'eau, se dérobant sous la table, produira un déplacement au moins équivalent dans le liquide ambiant. Les rebords favoriseront ce résultat.

(**) Pour ce calcul, il n'y a qu'à remplacer dans la formule $E = 1/2\, g\, t^2$, g par 9^m8808 et t par $1/22$ de seconde.

(***) Dans la navigation à vapeur, le travail utile est employé à vaincre la résistance de l'eau. Ce travail croît environ comme le carré de la vitesse, si on considère un espace à parcourir ; il croît comme le cube de la vitesse, si on considère un intervalle de temps. Ce travail est employé à agiter vivement l'eau du sillage. Il n'est pas seulement perdu ; il est ordinairement très nuisible, en ce qu'il altère les berges des fleuves. Cette altération est surtout considérable dans les fleuves rapides tels que le Rhône, parce qu'il

Pour une vitesse de dix lieues à l'heure, les mêmes calculs donnent 4 cent. pour limite supérieure de la dépression qui, il ne faut pas l'oublier, est bien supérieure à la dépression réelle.

J'espère que les lecteurs admettront avec moi que le principe fondamental est de toute vérité; et, dès-lors, ils seront forcés d'admettre les conséquences qui en résultent rigoureusement.

VITESSE DE L'HYDRO-LOCOMOTIVE.

L'hydro-locomotive, sous l'impulsion d'un moteur de quarante chevaux, partira du repos avec un mouvement accéléré (*). La résistance de l'eau ira en diminuant avec rapidité, tandis que celle de l'air ira en augmentant à peu près comme le carré de la vitesse. Alors il arrivera bientôt un moment où le travail utile du moteur sera détruit par les frottements, par la résistance du liquide qui sera très-faible parce que la vitesse sera très-grande, et par le travail résistant de l'air, travail qui sera prépondérant. A partir de ce moment, la vitesse sera constante, et la locomotive parcourra plus de 20 lieues à l'heure.

faut dépenser une quantité très-considérable de travail pour remonter le courant.

Dans le nouveau système, l'agitation du sillage étant très-faible, comme je l'ai établi, c'est une preuve que la résistance de l'eau le sera également

(*) Dans le mouvement initial, l'eau offrira une plus grande résistance qu'il faudra surmonter : cela sera facile ; car la résistance de l'air sera alors insignifiante, et le moteur pourra donner en puissance impulsive ce qu'il ne donnera pas encore en vitesse. Pour cela, il suffira d'employer une détente de la vapeur *variable à volonté*. On pourrait au besoin employer un ou deux corps de pompe auxiliaires qui seraient employés pour le mouvement initial, et qui serviraient utilement dans les vents contraires.

En effet, des observations ont établi que, dans les tempêtes de violence ordinaire l'air parcourt 20 lieues à l'heure, et qu'il n'exerce pas, sur les surfaces planes perpendiculaires au courant, une pression supérieure à deux millimètres de mercure, pression équivalente à 27 kilogrammes par mètre carré. Or la locomotive, au maximum de son émergence, présentera à l'air une surface dont la section transversale maximum sera de 7 mètres carrés et demi. Des considérations sur la forme de l'hydrolocomotive qui est munie d'une proue destinée à fendre l'air, considérations fondées sur des expériences relatives à la résistance des fluides au mouvement des surfaces de diverses formes, m'ont conduit à admettre que la résistance de l'air sera environ le tiers de ce qu'elle serait si la locomotive était terminée en avant par une surface plane et verticale de 7m.c.50. D'après cela, la résistance de l'air, sous une vitesse de 20 lieues, ne dépassera pas 67 kilogrammes. Cette résistance multipliée par la vitesse égale à 22 mètres par seconde, donne 1474 kilogrammètres qui, divisés par 75, fournissent 20 chevaux vapeur. Le travail utile qu'il faut opposer au travail résistant de l'air sera par conséquent de 20 chevaux vapeurs. Il restera donc une puissance de 20 chevaux vapeur pour les frottements, pour le travail inutile des propulseurs, et pour le travail résistant de l'eau. Or nous avons déjà vu que le travail résistant de l'eau sera très-faible, et je prouverai bientôt que le travail des frottements et le travail inutile des propulseurs seront presque insignifiants. Il reste un excès de travail qui se traduirait en augmentation de vitesse : on emploira, comme je l'ai déjà dit,

cet excès à remorquer un certain nombre d'hydro-wagons. Les hydro-wagons marchant dans le sillon que l'hydro-locomotive aura tracé dans l'atmosphère, éprouveront une très-faible résistance atmosphérique. Et, comme les autres résistances absorberont une faible quantité de travail, on voit que ce système jouira au suprême degré de l'avantage des transports économiques. Une hydro-locomotive pourra traîner une longue suite d'hydro-wagons chargés de personnel et de matériel (*).

CONVOIS REMORQUÉS PAR UNE OU DEUX HYDRO-LOCOMOTIVES.

J'ai établi que l'hydro-locomotive aura une puissance bien supérieure à celle qui est nécessaire au transport de son poids à raison de 20 lieues à l'heure. Cet excès de puissance sera utilisé à remorquer un train d'hydro-wagons. La résistance atmosphérique sera très-faible sur ces wagons qui suivront le sillon tracé dans l'atmosphère par l'hydro-locomotive. Or nous avons fait voir que cette résistance sera le principal obstacle à la marche, et que la résistance de l'eau sera très-faible : Il est donc extrêmement probable que le nombre des wagons remorqués par une hydrolocomotive sera considérable. En joignant à la première hydrolocomotive une hydro-locomotive de renfort, le nombre de wagons remorqués sera bien plus que doublé, puisque cette seconde hydro-locomotive, éprouvant peu de résistance

(*) La charge remplaçant le poids du moteur supprimé, pourra être, pour chaque wagon, de 4 tonnes au minimum Ce poids correspond à peu près au transport de 40 voyageurs par hydro-wagon, y compris les bagages.



atmosphérique, la majeure partie de son travail sera utilement employé en puissance de traction. Je ne reviendrai pas sur ce que j'ai dit sur le mouvement initial. Cette question qui trouverait ici sa place, a été déjà résolue dans un renvoi précédent.

J'ai déjà traité la question des changements de direction d'une hydro-locomotive isolée : je vais m'occuper de cette question appliquée aux convois. La condition que doit remplir un train, pour se prêter aux évolutions, c'est d'être articulé, de manière à fléchir au besoin dans le sens horizontal. Le procédé de liaison des véhicules est trop simple pour que je m'y arrête. Cela posé, si par un des moyens déjà décrits, on imprime une nouvelle direction à la locomotive, elle communiquera cette direction au wagon qui lui succèdera immédiatement, et ainsi de suite de proche en proche.

Je ferai observer que si le conducteur, par une traction, parvenait à donner à volonté au train, la forme d'un arc concave vers un côté ou vers l'autre, on aurait un moyen excellent pour les changements de direction : En effet, si un arc de cercle flottant sur l'eau, est poussé par une force tangentielle, cet arc tourne autour de son centre. Les poissons qui exécutent si facilement toutes sortes d'évolutions dans l'eau, n'emploient guère d'autre moyen pour changer de direction. Leur corps se plie en forme d'arc toutes les fois qu'ils veulent changer de direction. Or un mécanisme très-simple pourra permettre au conducteur de faire plier le train articulé dans un sens ou dans l'autre, et donnera au convoi une facilité d'évolution extraordinaire. Les couronnes immergées dans l'eau, rendront la dérive d'autant plus faible que la

vitesse sera plus grande. On sera convaincu de la vérité de ce dernier fait, en remarquant que les surfaces appuyant latéralement contre l'eau, seront toutes planes comme la quille d'un vaisseau; qu'elles auront une étendue très-grande par rapport au poids du convoi ; et que la dérive des bâtiments est d'autant plus faible, que leur marche est plus rapide. Dans ces conditions, un convoi dans ses évolutions présentera la plus grande analogie avec une anguille. La facilité d'évolution sera d'autant plus précieuse qu'elle rendra les rencontres presqu'impossibles.

On comprendra facilement qu'il ne sera pas nécessaire que la flexion soit imprimée par le pilote à toute l'étendue du convoi : Il suffira qu'elle soit imprimée à la tête du train ; c'est-à-dire que le conducteur, au moyen d'une traction latérale, n'aura qu'à faire incliner la direction de la locomotive conductrice sur celle du véhicule qui lui succèdera. On pourra, si on le juge utile, employer la vapeur à produire cet effet.

PROPULSEURS.

Aucun propulseur n'a fourni des avantages approchant de de ceux que présenteront les cylindres des hydro-locomotives. Ils convertiront sensiblement tout le travail moteur en travail utile. Une pareille assertion doit paraître extraordinaire aux personnes qui se sont occupées de navigation à vapeur. Je vais la démontrer rigoureusement :

1° Pendant la course rapide des hydrolocomotives, les cylindres seront totalement hors de l'eau. Les bords extérieurs des

palettes engraineront seuls avec le liquide, et pénétreront à une profondeur d'un décimètre. Par conséquent la résistance que l'eau exercera sur les palettes, sera partout dans le sens du mouvement de la locomotive; du moins d'une manière sensible. Il n'y aura pas une poussée qui soit sensiblement oblique; de sorte que la résultante de toutes les poussées sera sensiblement égale à leur somme. Jusqu'ici on n'a obtenu ce résultat que par une complication considérable (*), se traduisant en perte de travail, parce qu'on a toujours été forcé d'employer des moteurs trop immergés;

2º Jusqu'ici les propulseurs à roues ont travaillé en majeure partie *à vide* (**): c'est-à-dire que sur une eau stagnante, la course du bateau a été beaucoup moindre que les circonférences décrites par la roue du propulseur développées en ligne droite. En d'autres termes, les aubes ont toujours reculé considérablement dans l'eau, en poussant en arrière des masses liquides, avec une vitesse d'autant plus grande, que l'on a dépensé plus de travail. C'est au point, qu'au delà d'une certaine limite, la dépense du travail devenant plus grande, les roues tournent plus vite, l'air se mélange à l'eau en formant une sorte d'écume, l'eau est chassée plus vivement en arrière; et, ce qui est très-remarquable, le bateau n'avance pas plus vite. Tout le travail moteur que l'on ajoute, devient travail inutile ou *travail à vide*.

(*) Roues à aubes articulées.

(**) Cela est surtout vrai dans les vitesses un peu considérables. C'est une cause qui, jointe à l'accroissement de la résistance de l'eau, fait que, dans le système usité, on ne peut obtenir des transports économiques qu'en les effectuant avec beaucoup de lenteur.

Dans les cylindres de l'hydro-locomotive, au contraire, *le travail à vide* sera insensible; car les palettes ne reculeront pas tout à fait de 5 centimètres dans un parcours de 22 mètres; ce qui produira moins de $1/40$ de travail inutile.

En effet, pendant $1/22$ de seconde, les palettes poussant l'hydro-locomotive d'un mètre en avant, chasseront en arrière la couche d'eau située au dessous des deux matelas d'air comprimé. Cette couche ayant 6 mètres carrés de superficie et 1 décimètre d'épaisseur, pèsera 600 kilogrammes. D'un autre côté, la puissance impulsive qui chasse cette eau en arrière, n'est autre que la résistance de l'air jointe à celle de l'eau. Or le travail des résistances est un peu inférieur à 40 chevaux ou à 3000 kilogrammètres : En divisant par la vitesse 22^m, on a 136 kilogrammes qui représentent une limite très peu supérieure aux résistances qu'éprouve la locomotive.

Cela posé, si la masse d'eau chassée en arrière était libre, et si la force impulsive était égale à son poids 600 kilogrammes, cette masse parcourrait, en vertu des lois de la pesanteur, dans $1/22$ de seconde, un espace d'un centimètre. Mais comme la force impulsive n'est que de 136 kilog., c'est-à-dire les $136/600$ du poids de cette masse, l'espace parcouru ne sera que les $136/600$ d'un centimètre, ou bien $0^m,00227$. C'est là une limite supérieure de l'espace dont les palettes reculeront dans l'eau dans $1/22$ de seconde; d'où il résulte que, dans une seconde qui correspond à un parcours de 22 mètres, il y aura un glissement plus petit que $0^m,00227 \times 22$ ou que 5 centimètres; ce qui est la conclusion déjà énoncée.

Ce résultat est si important et si éloigné des résultats obtenus avec tous les propulseurs usités, que, malgré la démonstration rigoureuse que je viens d'en donner, je sens le besoin de signaler les causes d'une si grande différence. Dans les bateaux à vapeur à roues, la résistance est très grande pour une vitesse un peu considérable, les palettes ont une étendue relativement très-petite, et dans une seconde, elles chassent en arrière l'eau d'un sillon de 5 à 6 mètres de long tout au plus. Dans l'hydro-locomotive au contraire, la puissance résistante est très petite, les palettes ont une étendue relativement très-considérable, et elles chassent en arrière, dans une seconde, l'eau d'un sillon de 22 mètres de long, sur toute la largeur du véhicule. Ces causes tendent toutes les trois, *en raison composée,* à constituer un avantage immense en faveur des propulseurs de l'hydro-locomotive (*).

Je crois maintenant pouvoir caractériser les propulseurs de l'hydro-locomotive, en disant qu'ils équivalent sensiblement à *des roues adhérentes, roulant sans frottement;* c'est-à-dire qu'ils approchent d'une limite où *il y aurait perfection dans le propulseur.*

(*) J'ai pris pour terme de comparaison les propulseurs-roues à cause de l'analogie. Les propulseurs à hélice ont également de très grands défauts. Les plus saillants sont des frottements très considérables, l'obliquité des poussées et une quantité énorme de travail à vide.

APPLICATION DU NOUVEAU SYSTÈME SUR LES RIVIÈRES COUPÉES PAR DES BARRAGES.

La plupart de nos rivières sont coupées par des barrages qui produisent des chutes, et par suite des forces naturelles qui rendent les plus grands services aux populations riveraines. En outre, ces barrages retiennent les eaux, augmentent leur profondeur, et diminuent leur rapidité; conditions essentielles pour le mode de navigation usité. Il résulte de ce que nous avons déjà exposé, que ces conditions sont très indifférentes pour le nouveau système. Quoiqu'il en soit, il faut que le nouveau système soit appliqué aux rivières dans les conditions présentes.

Partout où on a établi des écluses pour les besoins de la navigation, les trains décrits pourront passer d'un bief à l'autre; car ils ont une largeur de trois mètres, qui est inférieure à la largeur de la plupart des bateaux de transport sur les rivières et les canaux.

Cette solution naturelle du problème présente des défauts capitaux : elle ne s'applique qu'aux rivières navigables qui sont en minorité, et le passage des écluses nécessite un temps d'arrêt considérable.

J'ai, en conséquence, cherché une solution plus avantageuse qui, je l'espère, ne laissera rien à désirer.

On établira sur chaque barrage un plan incliné parallèle à l'axe de la rivière, formant un petit angle avec l'horizon, et borné de chaque côté par un rebord retenant les eaux. On aura

diminue : elle passe ensuite par une valeur minimum, après laquelle elle augmente indéfiniment.

Pour simplifier la démonstration de ces propositions, je vais avoir recours à l'emploi de deux courbes. Que le lecteur ne s'effraie pas pour celà; il n'est nullement besoin d'être versé dans les mathématiques, pour comprendre ce qui va suivre.

Sur une droite 0 40 (fig. 3), je représente les vitesses par des longueurs prises à partir du point 0, en prenant un demi-centimètre pour représenter une lieue. Ainsi l'intervalle compris entre le point 0 et la division 15, contient 15 demi-centimètres et représente 15 lieues. Je représente par des perpendiculaires élevées au dessus de la droite 0 40, les résistances de l'air correspondantes aux vitesses, et par des perpendiculaires menées en dessous, les résistances de l'eau. Pour ces perpendiculaires chaque millimètre représente une puissance de 5 kilogrammes. Je joins les extrémités des perpendiculaires supérieures par un trait continu, et j'ai la courbe des résistances atmosphériques. J'opère de même pour les perpendiculaires inférieures et j'ai la courbe de la résistance de l'eau. Ainsi pour la division 15, correspondant à une vitesse de 15 lieues à l'heure, la perpendiculaire supérieure est de 8 mill. et indique que la résistance de l'air est de 40 kilogrammes. La perpendiculaire inférieure est de 4 millimètres, et indique que la résistance de l'eau est de 20 kilogrammes. La perpendiculaire totale comprise entre les deux courbes est de douze millimètres, ce qui veut dire que la résistance totale est de 60 kilogrammes.

Sur la figure on voit que la *résistance totale* va en augmentant lorsque la vitesse croît depuis zéro jusqu'à 5 lieues à l'heure ; qu'elle va en diminuant depuis 5 lieues jusqu'à 15 lieues et qu'elle va ensuite en augmentant indéfiniment.

La courbe supérieure dont les perpendiculaires représentent les résistances atmosphériques a été construite à très peu près exactement ; car on sait que la résistance de l'air croît à peu près comme le carré de la vitesse. Cette courbe est une parabole dont l'axe est vertical.

Il n'en est pas de même pour la courbe inférieure dont les perpendiculaires n'ont pu être calculées qu'aproximativement par des limites. Mais pour établir la vérité des propositions énoncées, il n'est pas nécessaire de construire, même approximativement, cette courbe : Il suffit de démontrer qu'elle a la forme que je lui ai donnée dans la figure, et cela est facile.

Pour celà, je suppose que l'hydro-locomotive flotte au repos sur une masse d'eau parfaitement tranquille. Si on lui applique une traction de dix kilogrammes, elle partira d'un mouvement progressif, et quand elle aura une vitesse uniforme, elle éprouvera une résistance de 10 kilogrammes de la part de l'eau. Si ensuite je porte la traction à 20 kilogrammes, la vitesse croîtra, et quand elle sera devenue uniforme, la résistance de l'eau sera de 20 kilogrammes. Il est donc évident que dans le mouvement initial, la vitesse augmentant, la résistance de l'eau croîtra quoiqu'il y ait émergence de plus en plus grande (*). Mais nous

(*) Je ne tiens pas compte de la résistance de l'air qui est négligeable dans des vitesses très peu considérables.

avons démontré que pour une grande vitesse, la résistance de l'eau était très petite et qu'elle tendait vers zéro. Il faut donc que cette résistance, après avoir cru jusqu'à une certaine vitesse, diminue ensuite indéfiniment. Et cette vitesse, à laquelle correspond le maximum de résistance de l'eau, est bien inférieure à dix lieues à l'heure d'après ce qui a été déjà démontré. La forme de la courbe inférieure est donc justifiée (*).

Cela posé, à l'inspection de la figure, on peut se convaincre qu'il y a une certaine vitesse pour laquelle la *résistance totale* sera minimum. La figure indique que le minimum de la résistance totale correspond à une vitesse de 15 lieues à l'heure.

Cette vitesse à laquelle correspond le minimun de résistance totale est dépendante des courants d'air, de la forme, des dimensions et du poids de l'hydrolocomotive, ainsi que du nombre et

(*) La courbe tourne d'abord sa convexité vers l'axe des vitesses, car, dans le mouvement initial, la résistance croit plus rapidement que la vitesse : cela doit être tant que l'émergence est peu considérable.

Au point maximum la tangente doit être parallèle à l'axe des vitesses ; car il est cestain qu'il n'y a pas de changement brusque pour les résistances lorsque la vitesse varie d'une manière continue.

Dans le voisinage du point maximum, la courbe a nécessairement sa concavité tournée vers l'axe des vitesses, puisqu'elle est au-dessus de la tangente.

Au delà du point maximum, et à une certaine distance, la courbe redevient convexe vers l'axe des vitesses; car il est certain que la résistance diminue d'une manière de moins en moins rapide quand la vitesse devient de plus en plus grande, au delà d'une certaine limite. Il résulte d'ailleurs du principe fondamental, que l'axe des vitesses est une asymptote de la courbe ; ce qui ne peut être qu'autant que la courbe tourne de nouveau sa convexité vers l'axe des vitesses.

Il résulte de cela qu'il y a deux points d'inflexion, l'un avant le point maximum et l'autre après.

des charges des hydro-wagons remorqués. Si on compare les densités de l'air et de l'eau, et, par suite, les résistances relatives de ces deux fluides, on sera convaincu que cette vitesse sera très considérable, car elle devra correspondre à une très grande émergence. Il résulte de calculs approximatifs que, dans les trains décrits, sa valeur moyenne sera à peu près de quinze lieues à l'heure (*).

(*) Il serait dangereux de marcher avec de très-grandes vitesses sur les cours d'eau sinueux et très étroits. Sur ces cours d'eau on devra employer des véhicules d'une très petite dimension et très légers. Dans ce cas la vitesse correspondante au minimum de résistance totale pourra être réduite à une valeur de 5 à 6 lieues à l'heure, et on aura la faculté de faire varier considérablement la vitesse en deçà et au delà de cette limite. Ainsi, dans les endroits difficiles, on ralentira la marche autant qu'il sera nécessaire, et on marchera avec la vitesse des chemins de fer lorsqu'on pourra le faire sans danger.

Voici, en résumé très succint, la description d'une hydro-locomotive de très petites dimensions :

Les cylindres ont un mètre de diamètre et 1m50 de longueur. Elle est construite en tôle étamée, très mince, soutenue par une légère charpente. Les palettes et les couronnes sont soudées entr'elles et avec les surfaces convexes des cylindres.

Le moteur est de la force de 3 chevaux.

Le poids mort de l'hydrolocomotive est de 300 kil.

Le poids mort de chaque hydro-wagon est de 150 kil.

J'admets que le poids total de chaque véhicule s'élève à 600 kil. par suite du chargement; ce qui donne pour la charge de l'hydro-locomotive, 300 kil.; et pour celle de chaque hydro-wagon 450 kil.

Cela posé, les matelas d'air portant chaque véhicule auront en somme une aire d'un mètre carré et demi, et la pression moyenne de ces matelas dépassera la pression atmosphérique d'une quantité égale seulement à la pression d'une couche d'eau de 4 décimètres d'épaisseur. Ce qui fait voir que la solidité sera plus que suffisante, et que la surface de l'eau se déprimera

Cela posé, on devra adopter cette vitesse si on veut effectuer les transports avec la plus grande économie de travail (*). Mais si on veut sacrifier une faible dépense de travail à une économie de temps, on pourra dépasser de beaucoup cette vitesse. Ainsi on pourra, comme dans les chemins de fer, employer des trains de commerce, des trains ordinaires de voyageurs et des trains exprès. Dans ces derniers, on pourra facilement dépasser trente lieues à l'heure, en employant une hydro-locomotive de renfort qui, marchant dans le sillon que la première aura tracé dans l'atmosphère, éprouvera très peu de résistance atmosphérique. Presque tout le travail de cette dernière passera dans celle qui la précédera, et sera employé à vaincre la résistance atmosphérique qui agira principalement sur la tête du convoi (**).

très peu sous une pression très faible et qui ne durera qu'un quatorzième de seconde en supposant une vitesse de 6 lieues à l'heure.

Dans les trains maritimes qui seront plus lourds que les trains des rivières, la vitesse du minimum de résistance totale dépassera 15 lieues à l'heure, et il sera économique d'adopter une très grande vitesse qui ne présentera aucun danger.

Ainsi, dans le nouveau système, l'économie de transport suit une loi conforme aux conditions de sécurité ; c'est-à-dire qu'il sera avantageux au point de vue de l'économie du combustible, d'aller d'autant plus vite, que le danger des grandes vitesses sera moindre.

(*) En réalité, c'est une vitesse un peu inférieure qu'on devrait adopter. Les raisons que je ne développerai pas, tiennent principalement au poids mort, et à ce fait qu'il y a perte dans le travail de la vapeur, lorsque les coups de piston deviennent très rapides. Ces causes ont beaucoup plus d'influence dans les chemins de fer ; voilà pourquoi on trouve une grande économie de travail dans les vitesses modérées.

(**) Les vitesses extrêmes qui sont si dangereuses sur les chemins de fer, ne présenteront aucun danger sur une large nappe d'eau. En effet, le dan-

Jusqu'ici je ne me suis occupé que de l'économie de transport relative aux vitesses. Quant à l'économie absolue que procurera le nouveau système, il n'y a que l'expérience qui puisse la déterminer d'une manière précise. On peut toutefois trouver des raisons très fondées pour être convaincu que les avantages qu'il présentera dépasseront ceux que procurent les chemins de fer.

En effet, sous de très grandes vitesses, l'eau offrira presque la même inflexibilité qu'un plan de glace; cela résulte du principe fondamental. L'adhérence de l'eau sera nulle puisque les véhicules seront portés sur un matelas d'air. Les palettes et les couronnes couperont l'eau, comme des lames minces et tranchantes, ayant un mouvement très lent par rapport à la vitesse des véhicules (*) : enfin, il n'y aura aucun glissement sur la surface de l'eau.

D'un autre côté, le poids mort à transporter sera, relativement au poids utile, bien moins considérable que sur les chemins de

ger d'un déraillement n'existe pas : Les rencontres peuvent être facilement évitées à cause de la grande largeur de la voie, et de la facilité de direction. La rupture d'un essieu n'aurait d'autre effet que d'enrayer un cylindre et de ralentir la vitesse qui serait bientôt détruite. Je ne m'étends pas davantage sur ce sujet, chacun pouvant facilement se convaincre de l'exactitude de ces assertions.

(*) Ces lames entreront dons l'eau et émergeront sensiblement à la même place ; elles se déplaceront dans l'eau de moins d'un centimètre en arrière, ainsi que cela a été démontré ; elles pénétreront dans l'eau et émergeront dans le sens de leur largeur. Les frottements très faibles de l'eau contre leur surface seront dirigés vers les axes des cylindres, et ces forces, détruites par la résistance de ces axes, produiront une perte de travail insignifiante.

fer. En effet, l'hydro-locomotive pèsera au plus six tonnes ; il n'y aura pas de tender puisque l'eau pourra être puisée dans la masse liquide à mesure des besoins ; et le poids mort de chaque wagon sera au plus de deux tonnes. Dans les chemins de fer, la locomotive seule avec son tender approvisionné pèse ordinairement plus de trente tonnes, et ce poids mort est nécessaire pour l'adhérence des roues de la locomotive avec les rails.

Ces considérations feront regarder, je l'espère, comme éminemment probable, que, dans le nouveau système, le travail consacré au transport sera beaucoup moindre que sur les chemins de fer, et que, comme je l'ai déjà exprimé plus haut, les avantages du nouveau système sous le rapport de l'économie dans le transport, seront beaucoup plus considérables que ceux que présenteraient les chemins de fer, même dans le cas où il ne faudrait pas tenir compte de l'intérêt de capitaux très considérables, et de frais généraux très élevés.

HYDRO-LOCOMOTIVES ATMOSPHÉRIQUES.

Dans les rivières coupées par des barrages, et ce sont les plus nombreuses, des masses d'eau tombent en pure perte. Une faible partie de ce travail perdu, pourrait suffire au transport des hommes et des produits agricoles et industriels. Je vais décrire une hydro-locomotive à air comprimé, qui permettra de tirer parti de ces forces naturelles.

La force motrice consiste dans la détente d'une masse d'air comprimé par des machines fixes. Cet air sera reçu d'abord

dans des réservoirs fixes qui serviront en quelque sorte de magasins de travail. Des pompes à comprimer l'air, travaillant d'une manière continue, accumuleront dans les réservoirs des quantités considérables de travail que l'on pourra y puiser à mesure des besoins. J'appellerai ces réservoirs fixes, *réservoirs alimentaires*.

Les cylindres qui, dans l'hydro-locomotive à vapeur, remplissent les rôles de roues et de propulseurs, serviront encore dans la nouvelle locomotive, à porter une provision d'air comprimé, dont la détente sera employée comme force motrice. Ainsi ces cylindres remplaceront la chaudière, et seront alimentés par l'air des réservoirs alimentaires.

Ces cylindres devront dès-lors être appropriés au nouveau rôle qu'ils auront à remplir. L'hydro-locomotive à air comprimé, ne différant de la précédente que par la suppression de la chaudière, par la forme des cylindres et par la distribution, je ne vais décrire que ces parties de l'appareil, en conservant les mêmes dimensions que dans l'hydro-locomotive à vapeur précédemment décrite.

DESCRIPTION DES CYLINDRES ET DE LA DISTRIBUTION.

Les cylindres-roues, destinés à servir de réservoir à une provision d'air comprimé, doivent être susceptibles d'une grande résistance. A cet effet, ils sont terminés par des bases hémisphériques. Les palettes auront, comme précédemment, trois mètres de longueur, mais les fonds convexes formeront, comme

on le voit dans le dessin (fig. 4), deux saillies de 50 centimètres en dehors des palettes, ce qui porte la largeur de l'hydro-locomotive à quatre mètres.

L'axe de chaque cylindre est creusé vers l'une des extrémités et chacune de ces cavités communique d'une part avec l'intérieur d'un cylindre, et d'autre part elle communique, par plusieurs trous cylindriques, avec une boîte à cuir placée en dehors du châssis. Des tuyaux de distribution conduisent l'air comprimé de la boîte à cuir aux cylindres moteurs. Ces boîtes à cuir ont la forme d'anneaux creux, laissant un ruban de l'axe à découvert dans leur intérieur. Des colliers en cuir graissé, laissant librement tourner l'axe, embrassent cet axe de chaque côté du ruban découvert, et ne laissent échapper aucune parcelle d'air parce qu'ils sont pressés contre l'axe par la force élastique de l'air intérieur. C'est dans le ruban de l'axe, laissé à découvert dans la boîte, que sont les orifices qui font communiquer l'intérieur de la boîte avec l'intérieur du cylindre-roue. La boîte est solidement fixée au châssis.

LÉGENDE.

La fig. 4, construite à l'échelle de deux centimètres par mètre, représente le cylindre de l'avant, coupé par un plan horizontal passant par l'axe. Je n'ai pas dessiné la charpente intérieure.

AA .... Châssis, reposant sur les extrémités des axes du cylindre.

BB......... Fonds convexes, se raccordant avec la surface convexe du cylindre, autour de laquelle sont les palettes et les couronnes circulaires. Le raccordement a lieu à cinquante centimètres des extrémités des palettes.

CC......... Coupes des couronnes circulaires.

DD .... Palettes.

A cause de la petitesse de l'échelle, je vais représenter à part une partie du mécanisme et de la distribution.

La figure 5, construite à l'échelle de 1 à 10, représente la boîte à cuir et une partie du mécanisme et de la distribution. Le point de vue est placé en haut.

AA .... Châssis. — BB. Cavité du cylindre servant de réservoir d'air.

CC......... Extrémité cave de l'axe du cylindre.

DD .... Boîte à cuir embrassant l'axe en dehors du châssis et communiquant avec la cavité de l'axe par des orifices circulaires.

EE......... Tuyau conduisant l'air comprimé de la boîte à cuir dans les boîtes des corps de pompe.

FF......... Excentriques commandant le tiroir du corps de pompe de droite, au moyen des tiges TT. L'une de ces tiges est pour le mouvement direct, et l'autre pour le mouvement rétrograde.

GG .... Manivelle du cylindre.

HH........ Bielle commandée par la tige du piston du corps de pompe de droite.

DEVIS.

J'admets que les cylindres sont destinés à recevoir de l'air sous une pression de huit atmosphères. Dans ce cas, je construis les enveloppes en tole de fer rivé de huit millimètres d'épaisseur. Ces enveloppes auront ainsi une résistance suffisante (*).

Les enveloppes des deux cylindres offriront en somme une étendue de cinquante mètres carrés et pèseront quatre tonnes. Le reste de l'appareil, construit comme je l'ai dit plus haut, pèsera au plus deux tonnes. Ainsi, le poids de cette locomotive sera à peu près le même que celui de l'hydro-locomotive à vapeur précédemment décrite. La résistance de l'eau sera donc la même que dans le cas précédent. Il en sera à peu près de même de la résistance de l'air, parce que, je donnerai aux parois latérales une forme convexe. Ainsi cette hydro-locomotive, pour produire

(*) Une ordonnance royale détermine les épaisseurs des chaudières à vapeur en tôle, et prescrit que ces chaudières, avant d'être employées, soient soumise au moyen d'une presse hydraulique, à une pression triple de celle qu'elles auront à supporter pendant le travail de la machine au maximum de tension. Je n'entrerai pas dans le détail des causes qui ont fait imposer ces conditions. Aucune de ces causes n'existant dans l'emploi de l'air comprimé, j'ai adopté pour les enveloppes cylindriques l'épaisseur d'une chaudière à vapeur de même diamètre, travaillant sous une tension maximum de $1 + 7/3$ d'atmosphère. J'ai fait le calcul de l'épaisseur au moyen de la formule $E = 0{,}0018.\ D.\ (n-1) + 3.$ dans laquelle E est l'épaisseur en mil., D le diamètre en mil. et N la pression en atmosphères. A cause de l'armature puissante, formée par les couronnes circulaires et les palettes placées de champ, armature qui protége ces enveloppes, j'ai supprimé trois millimètres. Au reste, un habile constructeur m'a assuré qu'il se chargerait de la construction de ces cylindres, et les soumettrait à une pression de 10 et même de 12 atmosphères.

les mêmes résultats que la précédente, exigera à peu près la même quantité de travail.

J'ai calculé, par la méthode des quadratures de Thomas Simpson, en employant onze ordonnées, la quantité de travail fournie par la détente de lair contenu dans les cylindres-roues, sous une pression de huit atmosphères, la capacité do ces deux cylindres étant de vingt mètres cubes. J'ai trouvé que cet air, en se détendant, fournira 1857 dynamies. J'ai vérifié ce résultat par l'emploi de la formule fournie par le calcul intégral. Or le travail d'un cheval est de 270 dynamies par heure; donc 1857 dynamies équivalent au travail de 6,88 chevaux pendant une heure, ou de 41 chevaux pendant dix minutes.

On voit par là que l'hydro-locomotive pourra marcher pendant dix minutes sous une puissance impulsive égale à la puissance de l'hydro-locomotive à vapeur précédemment décrite; ce qui, à raison de 20 lieues à l'heure, procurera un trajet de plus de trois lieues. Il suffira donc de placer des réservoirs alimentaires dans des stations distantes de trois lieues (*).

(*) L'air à mesure qu'il se détendra, perdra une partie de plus en plus grande de sa force élastique, et dès-lors la puissance impulsive de l'hydro-locomotive ira en diminuant. Pour remédier à cet inconvénient, on emploiera une *détente variable à volonté,* ce qui fera perdre à la vérité une partie du travail de la puissance motrice. On pourra, au besoin, employer un ou deux corps de pompe auxiliaires qui viendront au secours des premiers lorsque la force élastique de l'air sera devenue insuffisante, et qui pourront être utiles dans le mouvement initial, et dans le cas d'un fort vent contraire.

Il y aura encore un moyen plus simple pour remédier à cet inconvénient; ce sera de rapprocher les stations. Ce moyen n'offrira aucun désavantage,



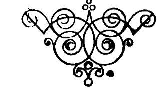
Pour approvisionner d'air comprimé les cylindres-roues, on n'aura qu'à mettre un des tuyaux de distribution en communication avec le réservoir alimentaire au moyens de deux bouts de tube flexibles que l'on raccordera. En ouvrant deux robinets fermant les deux bouts de tube raccordés, l'air du réservoir alimentaire se précipitera dans les cylindres-roues avec une violence extrême et décroissante. Quand le manomètre indiquera une pression suffisante, on fermera les robinets et on séparera les tubes raccordés. Il faudra moins d'une minute pour charger les cylindres-roues, et l'hydro-locomotive sera prête à s'élancer pour atteindre la station voisine.

DES STATIONS DESTINÉES A FOURNIR L'AIR COMPRIMÉ.

A chaque station on établira : 1° Une machine hydraulique fixe servant à comprimer l'air ; 2° Un réservoir alimentaire pouvant supporter une pression de douze atmosphères et ayant une capacité suffisante pour que la pompe à air puisse travailler d'une manière continue, en fournissant la quantité d'air nécessaire à l'alimentation des cylindres des hydro-locomotives ; 3° Des tuyaux de conduite pour l'air comprimé. Le réservoir sera isolé de manière qu'une explosion soit sans danger. Il pourra être placé à une grande distance de la pompe à compression et de la station des hydrolocomotives.

à cause de l'utilité qu'il y aura à s'arrêter souvent pour prendre ou déposer des voyageurs, et de la rapidité avec laquelle on s'approvisionnera d'air comprimé. Ainsi les stations pourront être placées à des intervales de deux lieues par exemple.

On pourra le construire sous forme de cylindre en tôle rivée; mais il sera presque toujours plus avantageux d'adopter le mode suivant : On creusera dans l'intérieur d'une coline, une grotte d'une dimension convenable; on lui donnera un revêtement en très bonne maçonnerie cimentée, enfin on la tapissera de minces feuilles en cuivre soudées les unes aux autres de manière à former une enveloppe intérieure appliquée contre les parois de la grotte. On aura ainsi un réservoir très économique, d'une résistance indéfinie, et complètement à l'abri des fuites.



DEUXIÈME PARTIE.

NAVIGATION MARITIME.

HYDRO-LOCOMOTIVES MARINES.

L'application du nouveau système à la navigation maritime apparaît sous un aspect plus imposant, et présente de plus grandes difficultés. Il en a été ainsi de la navigation à vapeur appliquée au système usité; car la vapeur a servi à la navigation des fleuves longtemps avant d'être appliquée à la navigation maritime.

Après avoir étudié profondément la question, je suis convaincu que le nouveau système présentera au moins autant d'avantages dans la traversée des mers que dans le parcours des fleuves et

des rivières. Je vais soumettre au lecteur les raisons qui servent de base à ma conviction.

Les difficultés nouvelles qui se présentent et compliquent la question sont : l'agitation de la surface de l'eau, et l'action puissante des vents et des flots. Pour les surmonter, il faut d'abord remplir deux conditions capitales : la solidité de construction et la stabilité; d'où résulte pour l'hydro-locomotive un poids plus considérable et une plus large base. Pour éviter de trop grandes charges sur les tourillons, j'emploie deux paires de cylindres : l'une à l'avant et l'autre à l'arrière. Alors le poids de la caisse a huit points d'appui au lieu de quatre. La caisse est à deux étages : l'étage inférieur contient le moteur, sa provision de combustible et les marchandises ; l'étage supérieur est destiné aux voyageurs. J'adopte, pour l'hydro-locomotive, le mécanisme des locomotives de chemin de fer à cylindres intérieurs.

LÉGENDE.

La fig. 6 représente l'hydro-locomotive en élévation latérale. La fig. 7 en représente la coupe par un plan horizontal passant par les axes des quatre cylindres. Les deux figures sont construites à l'échelle de 1 à 100. Les mêmes lettres représentent dans les deux figures les mêmes parties. La petitesse de l'échelle a été la cause pour laquelle j'ai supprimé le mécanisme du moteur qui, je le répète, est celui d'une locomotive de chemin de fer dont les corps de pompe sont intérieurs.

A A....... Caisse reposant sur les huit extrémités des axes des cylindres.

A'A' ...... Chambre contenant le moteur.

A"A" ...... Couloirs en communication avec cette chambre. Ils contiennent le mécanisme du moteur.

BBB...... Châssis reposant par huit coussinets en bronze sur les extrémités des axes des cylindres, et supportant la caisse.

CC....... Cylindres servant de roues et de propulseurs.

DD....... Axes des cylindres.

EE....... Palettes. Dans la figure 1 elles sont représentées en profil par des lignes ponctuées, parce qu'elles sont cachées par les couronnes circulaires antérieures.

FF....... Sections des couronnes circulaires qui servent à limiter et à cloisonner les intervalles compris entre les palettes. On voit, d'après les sections de ces couronnes représentées dans la figure 7, que les couronnes extérieures forment une saillie de deux décimètres en dehors des palettes. Ces saillies serviront de quille. Elles combattront la dérive dans les changements de direction, en même temps qu'elles contribueront à l'émergence en gênant le mouvement de l'eau sur les côtés.

GG....... Tambour très léger recouvrant en partie les cylindres antérieurs.

H. H...... Auvent en forme de plan incliné, faisant suite au tambour, et destiné à servir de proue pour fendre l'air. Des feuilles glissant dans des coulisses

servent à prolonger à volonté le plan incliné suivant la direction du trait ponctué X X.

L L....... Ligne de flottaison au repos, lorsque la locomotive est chargée seulement du moteur approvisionné.

L′L′...... Ligne de flottaison au repos, sous un supplément de charge de quarante tonnes.

L″L″...... Ligne de flottaison, sous cette charge, lorsque l'hydro-locomotive sera lancée avec une vitesse de vingt lieues à l'heure.

MM....... Chambre du pilote dominant l'hydro-locomotive et communiquant avec la chambre du moteur.

N......... Balustrade située sur le pont, derrière la chambre du pilote.

P P....... Cheminée.

QQ....... Axes deux fois coudés, servant de doubles manivelles pour imprimer un mouvement de rotation aux cylindres. La figure suppose que les deux paires de cylindres ont un mouvement indépendant, et que chacune est mue par deux corps de pompe.

RR.. R′R′.. Bielles mues par les tiges des pistons, imprimant un mouvement de rotation aux cylindres à l'aide des coudes servant de manivelles. Les deux coudes sont à angle droit l'un par rapport à l'autre

DEVIS.

Les enveloppes des cylindres et les couronnes extérieures sont en tôle de fer de trois millimètres d'épaisseur (*). Les palettes et les couronnes intermédiaires sont en tôle d'un millimètre soutenue par des nervures.

Les palettes, les couronnes et les surfaces cylindriques sont liées par des rivets. Un mastic de litharge et de minium sert à rendre les auges parfaitement étanches. Les palettes et les couronnes, renforcées par des nervures rivées, forment une puissante armature pour soutenir les surfaces convexes des cylindres. Je consolide encore ces surfaces, ainsi que les bases, par une charpente intérieure. Cette charpente, en fer et en bois, se compose : de rayons partant de l'axe ; de jantes soutenues par ces rayons et soutenant la surface convexe des cylindres ; enfin, de poutrelles longitudinales enchâssées dans les jantes.

Les parois de la caisse sont en tôle de trois, de deux ou d'un millimètre d'épaisseur, suivant que la partie recouverte est plus ou moins exposée au choc des vagues. Ces parois sont soutenues intérieurement par un treillis et une charpente portés sur le fort châssis qui repose sur les tourillons des cylindres. De nombreux montants, réunis par des traverses, lient ensemble les plan-

(*) A cause de l'action de la mer sur la tôle de fer, il paraîtra peut-être préférable d'employer des feuilles de cuivre. J'ai pensé qu'il serait facile de préserver la tôle de fer au moyen d'une couche d'enduit que l'on pourra renouveler avec la plus grande facilité lorsque le besoin s'en fera sentir.



chers des deux étages, en divisent ces étages en compartiments ou chambres. Toutes ces pièces sont en bois recouvert par des bandes en fer liées par des boulons. Cette construction présentera des garanties de solidité plus que suffisantes pour affronter les flots de la mer (*).

Des calculs trop détaillés pour que je les présente aux yeux des lecteurs m'ont conduit aux résultats suivants, que je donne en nombres ronds en les forçant :

Poids des quatre cylindres..................	14 tonnes.
Poids du châssis et de la caisse..............	6
Poids du moteur (deux chaudières de Stéphenson de 80 chevaux chacune, légèrement modifiées)...	20
Total..................	40 tonnes.

Ainsi, avec un moteur de 160 chevaux, le poids mort à trai-

(*) La pression que les flots en mouvement exercent sur la surface d'un corps flottant, dépend principalement de la masse de ce corps, et, par suite, de l'eau déplacée. Un tonneau vide aux parois les plus minces, flottant sur la mer, résiste parfaitement à la tempête la plus violente qui fait craquer la puissante charpente d'un lourd vaisseau. Tandis qu'on donne quelquefois jusqu'à un mètre d'épaisseur aux parois d'un vaisseau de haut bord, une épaisseur de quelques centimètres suffit aux parois d'une chaloupe qui, chargée, pèse presqu'autant que l'hydro-locomotive décrite. Et, si une chaloupe lancée à la mer dans une tempête qui a disloqué un vaisseau, est un refuge peu sûr pour les naufragés, ce n'est pas parce qu'elle court le risque d'être brisée; le danger principal, c'est qu'elle est menacée d'être submergée. La cause de ces différences consiste en ce qu'une force ne peut presser un obstacle qu'autant que cet obstacle résiste. En d'autres termes, l'action égale toujours la réaction. Or, la résistance qu'un corps flottant oppose au choc des vagues, tient à la résistance d'inertie de la masse de ce corps et de la masse d'eau qu'il entraîne en se déplaçant.

ner, non compris le combustible, sera de 250 kilogrammes par cheval.

Sous cette charge, la caisse a un tirant d'eau de trois décimètres, et les cylindres un tirant de huit décimètres en considérant le niveau inférieur des palettes.

En ajoutant un supplément de charge de quarante tonnes, la ligne de flottaison s'élèvera de trois décimètres, et on aura cinq cents kilogrammes à traîner par cheval.

En me fondant sur ce qui précède, je crois pouvoir admettre que, sous l'action du moteur, l'hydro-locomotive partira d'un mouvement accéléré; que la résistance de l'eau ira en diminuant, et celle de l'air en augmentant, jusqu'à ce que le travail moteur sera entièrement absorbé par le travail des résistances dans lesquelles l'air exercera une action prépondérante. A partir de ce moment, la vitesse sera devenue constante, et elle dépassera vingt lieues à l'heure. En effet, sous cette vitesse, le travail résistant de l'air n'absorbera au plus que le travail de cent vingt chevaux (*), et il restera un travail de quarante chevaux au moins pour les frottements, et la résistance de l'eau qui sera très faible sous cette vitesse. Que si on craignait que cette puis-

(*) L'hydro-locomotive présente une surface dont la section maximum perpendiculaire à sa direction est de quarante-cinq mètres carrés. A cause de sa forme, la résistance de l'air sera à peu près la même que pour une surface plane de quinze mètres carrés. Pour une vitesse de vingt lieues, la résistance de l'air sera donc égale au plus à quatre cent huit kilogrammes. Si on multiplie cette résistance par la vitesse vingt-deux mètres, on obtient huit mille neuf cent soixante-seize kilogram-mètres qui, divisés par soixante-quinze, donnent cent vingt chevaux. Tel est le travail résistant de l'air sous une vitesse relative de vingt lieues à l'heure.

sance de quarante chevaux ne fût pas suffisante, cela se résumerait à admettre que la vitesse pourrait être un peu inférieure à celle de vingt lieues à l'heure (*), ce qui est très peu important.

STABILITÉ HYDRO-STATIQUE.

Dans le nouveau système, principe, forme, procédés, tout est changé. Il ne faut donc pas juger le nouveau système avec les idées admises dans l'ancien. Toutes les objections qui m'ont été faites relativement à la stabilité et à la direction, tiennent à ce que l'on a assimilé des systèmes entièrement différents.

Une objection qui m'a été faite par des hommes très compétents en matière de navigation est celle-ci : On ne peut obtenir la stabilité en mer que par le moyen d'une quille et d'une carène profonde plongées dans l'eau. On ne peut se diriger dans un sens donné que par les mêmes moyens. Je commence par faire

(*) J'ai cherché quel serait le travail résistant de l'air pour une vitesse de 14 lieues : pour cette vitesse, la résistance de l'air est la moitié de la résistance correspondante à une vitesse de 20 lieues; elle égale par conséquent 204 kilogr. au plus. En multipliant par la vitesse qui égale $15,^{m}5$ par seconde, on a 3162 kilogram-mètres qui, divisés par 75 kilogrammètres, donnent 42 chevaux. Ainsi, le travail résistant de l'air ne serait que de 42 chevaux, et il resterait 138 chevaux pour vaincre les autres résistances. On voit par là que si 40 chevaux n'étaient pas suffisants pour vaincre les frottements et la résistance de l'eau, et pour compenser la petite quantité de travail inutile, il en résulterait une légère diminution pour la vitesse, qui ferait qu'une moins grande partie du travail moteur serait employée à vaincre le travail résistant de l'air.

observer que ces principes, même dans le système usité, n'ont pas le caractère de nécessité absolue qu'on leur accorde. La largeur du vaisseau à la ligne de flottaison est un élément de stabilité plus influent que la profondeur des œuvres vives. Le bâtiment *Le Laromiguière* qui, parti de Bordeaux, a remonté la Seine jusqu'à Paris, a prouvé que ces principes n'étaient pas une arche sainte à laquelle on ne devait pas toucher; et que la stabilité que l'on obtient par la profondeur peut être également obtenue par la largeur. S'il en est ainsi dans l'ancien système, où la force du vent qui pousse les voiles agit au moyen des mâts comme avec des leviers immenses pour renverser le bâtiment, il en sera à plus forte raison de même dans le nouveau système où la largeur, inhérente à la forme, n'est pas le moins du monde défavorable à la marche, et dans lequel il n'y a pas de voiles pour donner prise au vent, ni de mâts agissant comme leviers. A-t-on jamais vu un radeau renversé dans une tempête? Eh bien, la forme de l'hydro-locomotive est celle d'un radeau; car on peut la construire aussi large qu'on le jugera nécessaire, et sans que sa marche soit rendue moins rapide. On pourra, si on veut, mettre trois ou quatre cylindres de front au lieu de deux. Je pourrais, je crois, m'en tenir là pour cette question; néanmoins, la persistance de l'objection m'engage à donner quelques détails théoriques.

L'élément principal de la stabilité des corps flottants est l'élévation du métacentre au dessus du centre de gravité. Dans l'hydro-locomotive que je viens de décrire, la section au niveau de

l'eau, est un rectangle de 14 mètres de long et de 10 mètres de large. Le poids étant de 80 tonnes, l'élévation du métacentre au dessus du centre de gravité est de 13m 58 (*). Or dans les vaisseaux, cette élévation atteint rarement deux mètres. Le plus souvent elle est inférieure à un mètre. En outre, l'élévation du

(*) Pour calculer la position du métacentre, j'ai pris l'intégrale $h=\frac{2}{3p}\cdot\int_0^l y^3\, dx$, tirée du traité du navire de Bouguer. h est la hauteur du métacentre au-dessus du centre de gravité de l'eau déplacée, l représente la longueur de la section au niveau de l'eau comptée sur l'axe de symétrie de cette section, x représente l'abcisse de la section comptée sur l'axe de symétrie, et y l'ordonnée, enfin p représente le poids du corps flottant ou de l'eau déplacée.

Si on veut appliquer cette intégrale définie à l'hydro-locomotive, l'intégration est on ne peut plus facile, car y est une constante égale à 5 mètres, demi-largeur de l'hydro-locomotive. On peut alors faire sortir cette constante du signe $\int$, et il vient alors pour intégrale définie $h=\frac{2y^3l}{3p}$. Remplaçant l par la longueur de la section 14 mètres, y par la demi-largeur 5 mètres, p par sa valeur 80 tonnes (la tonne est l'unité de poids correspondante au mètre), l'on obtient $h=14^m,68$.

Cela posé, le centre de gravité de l'hydro-locomotive est à 1m,1 au-dessus du centre de gravité de l'eau déplacée. On voit donc que la hauteur du métacentre au-dessus du centre de gravité de l'hydro-locomotive est de 13m,58, ainsi que je l'ai affirmé.

Au reste, il ressort du calcul que la forme de la carène, qui est la plus favorable à la stabilité d'un vaisseau, est celle d'un parallélipipède rectangle ou d'une arche, forme découverte par Noë.

En second lieu, si on incline l'hydro-locomotive, le centre de gravité de l'eau déplacée s'abaissera très peu au-dessous de la surface de l'eau, tandis que la section à fleur d'eau augmentera en largeur, ce qui fait voir que le numérateur de l'intégrale définie augmentera, et que, par suite, la hauteur du métacentre au-dessus du centre de gravité ira en augmentant avec l'inclinaison; ce qui est la seconde condition essentielle de stabilité.

métacentre augmente avec l'inclinaison de la locomotive. On voit par là, qu'en donnant à l'hydro-locomotive une largeur de dix mètres seulement, on a une stabilité bien supérieure à celle du vaisseau le plus stable qui ait été jamais construit.

Pour rendre plus complète la démonstration, je vais calculer le moment de stabilité de l'hydro-locomotive sous une inclinaison donnée, par exemple sous une inclinaison de dix degrès.

Sous cette inclinaison, la poussée du liquide passe à trois mètres du centre de gravité. Le poids de l'hydro-locomotive étant de 80 tonnes, le moment de stabilité est de $80^t \times 3^m$ ou de 240 unités, en prenant pour unité de moment, la force d'une tonne agissant à l'extrêmité d'un bras de levier d'un mètre. Telle est la puissance qui tend à relever le véhicule incliné.

Cherchons maintenant la grandeur des moments des puissances qui tendent à le renverser. Ces puissances sont au nombre de deux : le vent et la poussée des vagues.

Le vent le plus violent, celui qui renverse les édifices, n'exerce pas une pression supérieure à un centimètre de mercure ; ce qui revient à 135 kilogrammes par mètre carré de surface plane et perpendiculaire au courant d'air. Or la surface latérale de l'hydro-locomotive est de 70 mètres carrés, ce qui donne une poussée maximum de 9 tonnes et demie.

La résultante des poussées du vent est dans le plan des axes des cylindres. Elle est parallèle à ces axes et en est équidistante.

D'un autre côté, en vertu du principe de la *réaction égale à l'action*, la résistance de l'eau fournit une puissance égale parallèle et contraire, dont la distance à la première ne saurait dé-

passer, ni même atteindre le rayon des cylindres qui égale 2^m. Dès-lors le *moment* de la puissance du vent qui tend à renverser le véhicule, ne saurait atteindre $9^k5 \times 2^m$, c'est à dire 19 unités, ou bien le douzième du *moment* de la stabilité. Cette puissance ne peut donc produire qu'un mouvement de dérive.

Quant à la puissance d'une vague tendant à renverser l'hydro-locomotive, on n'a pas des données suffisantes pour calculer une limite supérieure de son *moment*. Mais il est facile de démontrer, par de nombreuses considérations, que cette cause sera bien moins à craindre que la première pour la stabilité du véhicule.

D'abord la vitesse des vagues n'est pas excessive. Une vague marche avec une certaine lenteur contre le flanc d'un vaisseau, et en même temps qu'elle s'élève, elle tend à le soulever. Si quelquefois elle s'élève au dessus du bord, c'est que le vaisseau pesant plusieurs milliers de tonnes, présente une *résistance d'inertie* extrêmement grande. Ce qui le prouve, c'est qu'une chaloupe qui est beaucoup plus légère, obéit avec une facilité bien plus grande au mouvement des vagues; et quoique son bord soit dix fois moins élevé que celui du vaisseau, la lame ne le dépasse pas plus souvent, à moins qu'elle ne se déferle. Il en sera à plus forte raison ainsi pour l'hydro-locomotive qui a une densité moyenne beaucoup plus faible qu'une chaloupe. Lorsqu'une vague viendra l'aborder, l'hydro-locomotive sera très facilement soulevée, parce que son poids est très faible par rapport à son volume, et la vague passera sous l'hydro-locomotive soulevée.

Enfin une dernière considération très importante, est la sui-

vante : L'agitation de la mer est la plus considérable à la surface, et diminue très vite quand la profondeur augmente. La quille d'un vaisseau de haut bord est plongée à 7 mètres au-dessous de la surface de la mer. Elle se trouve environnée de couches d'eau qui participent très peu au mouvement de la surface ; de sorte que que lorsqu'une vague vient choquer le flanc d'un vaisseau, la quille et la partie basse de la carène étant retenues par la résistance de l'eau tranquille qui les environne, il en résulte un moment d'une puissance énorme qui tend à le renverser, et la vague se brise contre le vaisseau comme sur un rocher immobile.

Il en sera bien autrement de l'hydro-locomotive qui, n'ayant presque pas de tirant d'eau, reposera sur une masse d'eau dont toutes les parties ont à peu près le même mouvement ; et l'hydro-locomotive d'une très faible densité moyenne, participera avec la plus grande facilité à ce mouvement ; dès-lors, elle se dérobera devant la vague en même temps qu'elle sera soulevée par elle, et il en résultera un mouvement de dérive peu considérable.

A un point de vue, un bâtiment semble présenter un avantage sous le rapport de la stabilité. En effet, si l'arrimage était parfait, c'est-à-dire si tous les objets étaient invariablement fixés dans un vaisseau, il se relèverait quelqu'inclinaison qu'il eût reçue de l'action des vents et des flots. Mais cette supériorité n'est que théorique. On sait que la fixité des objets n'est jamais réelle ; qu'un vassieau couché sur les flots ne se relève pas et est un vaisseau perdu. Dans ce cas l'avantage reste encore à l'hydro-locomotive ; en effet, relevée sur les bases planes des cylindres,

elle retomberait dans sa position naturelle; car le moteur posé sur le fond plat de la caisse, ferait que le centre de gravité serait du côté de ce fond par rapport à la poussée du liquide située dans le plan des axes des cylindres.

Ainsi, au point de vue hydro-statique, la stabilité dans le nouveau système sera plus grande que dans le système usité. Je vais faire voir qu'il en sera de même pour la stabilité hydro-dynamique.

STABILITÉ HYDRO-DYNAMIQUE. — DU ROULIS ET DU TANGAGE.

Quand un vaisseau a été éloigné de sa position d'équilibre, il y revient avec une vitesse accélérée; il dépasse cette position en vertu de la vitesse acquise; il y revient de nouveau, etc. De même qu'un pendule, il exécute autour de sa position d'équilibre une série d'oscillations dont l'amplitude peut devenir très grande, même sous l'action d'une faible puissance. Ainsi un homme qui pourrait à peine écarter d'une manière sensible un lourd pendule de la position verticale, parvient sans effort à lui faire décrire des oscillations qui, augmentant peu à peu d'amplitude, deviennent très grandes au bout de quelque temps.

Telle est la cause de ces mouvements qui fatiguent tant les vaisseaux et les hommes, et qu'on désigne sous le nom de roulis ou de tangage, suivant le plan d'oscillation.

La forme arrondie de la coque est la cause principale des balancements du roulis et de leur persistance. La forme aiguë de

la proue et celle de la poupe, contribuent puissamment à l'amplitude des oscillations du tangage.

L'hydro-locomotive qui a un fond plat et rectangulaire d'une grande étendue, ne pourra osciller qu'en déplaçant des masses énormes qui résisteront par leur inertie. Les oscillations seront donc très peu persistantes, ou, plus exactement, l'hydro-locomotive restera toujours sensiblement dans un état d'équilibre, en prenant l'inclinaison que les flots tendront à lui donner. Cette inclinaison ne pourra pas d'ailleurs être considérable, à cause de l'étendue de la base que l'on pourra augmenter au besoin en longueur et en largeur. On sera convaincu de ce fait, si on considère combien le métacentre est élevé au-dessus du centre de gravité, et combien le moment d'inertie est peu considérable.

Les mouvements du véhicule, ainsi que les chocs des vagues contre les cylindres, seront considérablement adoucis par l'air intercepté dans les auges.

Ces considérations établissent que l'hydro-locomotive aura peu à souffrir dans une tempête, ce qui est un bien grand avantage. On sait, en effet, que les mouvements de roulis et de tangage deviennent quelquefois si fatigants pour les vaisseaux, que, pour échapper à une perte presque certaine, on est obligé de couper les mâts et de jeter une partie de la cargaison à la mer, afin d'affaiblir le moment d'inertie.

Ainsi, dans le nouveau système, la stabilité hydro-dynamique, comme la stabilité hydro-statique, est plus grande que dans le système usité.

DE LA DÉRIVE ET DES CHANGEMENTS DE DIRECTION.

La dérive est l'angle que le sillage d'un vaisseau fait avec son plan de symétrie; c'est, en d'autres termes, l'inclinaison de la route qu'il parcourt, sur la droite qui va de la poupe à la proue.

Lorsque la puissance impulsive agit dans le sens de la marche, il n'y a point de dérive. Ce cas se présente dans un vaisseau à voiles qui court *vent arrière* et dans un bâtiment à vapeur qui marche sans le secours des voiles. Mais lorsque la force impulsive est inclinée sur le plan de symétrie d'un vaisseau, il y a toujours une dérive plus ou moins grande.

Dans un bâtiment à vapeur dépourvu de voiles, il ne peut y avoir de dérive que par l'action latérale des vents et des flots sur le corps du bâtiment, ou, dans les changements de direction, par l'effet de la tendance qu'a un corps à se mouvoir suivant une ligne droite (force centrifuge). La dérive, dans ce cas, est un défaut bien facile à combattre; car celle qui provient de l'action latérale des vents et des flots sur le corps du bâtiment est bien faible comparée à la dérive qui est produite par l'action du vent sur une immense étendue de voiles. Quant à celle qui est produite par les changements de direction, elle n'a d'autre effet que de donner lieu à un contour plus ou moins grand.

La profondeur des œuvres vives ou de la carène, l'étendue de la quille et la vitesse de vaisseau, tels sont les moyens qui combattent efficacement la dérive. Plus la vitesse est grande, et plus on peut réduire la profondeur de la partie immergée de

la coque et l'étendue de la quille; car les vaisseaux qui sont les meilleurs voiliers sont ceux qui dérivent le moins. Une grande vitesse et une quille d'une faible étendue peuvent parfaitement suffire pour combattre la dérive, et on peut réduire autant que possible la profondeur de la carène (*).

Dans l'hydro-locomotive qui, dépourvue de voiles, ne marchera que par la puissance de la vapeur, la dérive est un défaut bien facile à combattre, et les conditions dans lesquelles elle est placée sont plus que suffisantes pour qu'il ne doive rester aucune crainte à cet égard. En effet, la rapidité est très grande; la puissance impulsive agit constamment dans le sens de la vitesse; enfin les segments immergés des couronnes circulaires forment quatre quilles minces, planes, verticales et longitudinales, ayant en somme trois mètres carrés de superficie au maximum d'émergence.

Ces quatre quilles donneront lieu à une résistance latérale de l'eau toutes les fois que l'hydro-locomotive aura un mouvement oblique à sa direction, et l'énergie de cette résistance tiendra à la forme plane de ces quilles, à leur étendue, et à la rapidité de l'hydro-locomotive.

(*) Dans ces derniers temps on a résolu en partie le problème de *Paris port de mer*, au moyen de bâtiments ayant une carène très large et très peu profonde. La largeur suffit pour la stabilité; mais elle est favorable à la dérive. Pour combattre la dérive, on a employé une quille mobile, d'une grande étendue, qui diminue suffisamment la dérive lorsque le vaisseau navigue les voiles déployées, et que l'on fait entrer dans le corps du bâtiment lorsqu'on navigue sur la Seine. De cette manière on diminue le tirant d'eau; mais en même temps qu'on soulève la quille, il faut plier les voiles, sans quoi la dérive serait trop grande, et on ne pourrait pas guider la marche du navire.

Cette résistance latérale tiendra surtout à la rapidité de l'hydro-locomotive, parce que cette rapidité fera qu'à chaque instant la dérive tendra à repousser latéralement des masses d'eau partant du repos ; or nous avons déjà constaté combien est lent le mouvement initial des masses soumises à des puissances impulsives. Des calculs très simples, semblables à ceux que j'ai faits en exposant la théorie des propulseurs, établissent que, dans les changements de direction, l'hydro-locomotive tournera *très-court* et d'autant *plus court* que la vitesse sera plus grande.

Les segments immergés des couronnes circulaires ne sont pas seulement utiles parce qu'ils remplissent le rôle de quille, ils ont encore une importance très grande en ce qu'ils gênent considérablement le mouvement de l'eau pressée sous les cylindres-roues, et contrarient la tendence de cette eau à se dérober et à fuir sur les côtés de l'hydro-locomotive. Par cet effet, ils contribueront puissamment à l'émergence, et affaibliront considérablement la résistance de l'eau.

Ce dernier rôle est si important, que je regarde comme très avantageux un prolongement des couronnes circulaires plus grand que celui que le calcul m'a prouvé être suffisant pour combattre la dérive. En cela il faudra consulter l'expérience.

INFLUENCE DES VAGUES SUR LA MARCHE DE L'HYDRO-LOCOMOTIVE.

J'ai supposé jusqu'ici que l'hydro-locomotive devait marcher sur une surface unie. Mais la surface de la mer est ordinairement

dans un état d'agitation plus ou moins grande. Examinons quelle sera l'influence des vagues sur la marche de l'hydro-locomotive.

Je vais considérer trois cas : 1° lorsque la mer est agitée par des vagues d'une élévation médiocre ; 2° lorsque les vagues sont très hautes et très longues ; 3° lorsque les vagues sont hautes, courtes et tumultueuses.

Dans le premier cas, les vagues foulées sous les cylindres résisteront par leur inertie, et exerceront sur le matelas d'air une pression plus grande que celle qui aurait lieu sur une mer unie ; mais, par compensation, dans les intervalles des vagues, l'air des matelas éprouvera une pression moindre que la pression sur une surface unie. Cela tiendra à la rapidité du passage qui fera que la locomotive, en vertu de son inertie, n'obéira pas sensiblement aux mouvements de haut et de bas que ces différences de pression tendront à produire. Ainsi, sur une vague, l'eau plus vivement comprimée cèdera davantage, et le matelas d'air deviendra plus mince. Dans l'intervalle de deux vagues, au contraire, la pression devenant beaucoup plus faible, l'eau cèdera moins et le matelas d'air augmentera d'épaisseur. Ainsi le matelas d'air comprimé, qui par sa force élastique détruit le travail du poids du véhicule, éprouvera des différences de pression très rapides en dessus et en dessous d'une pression moyenne qui serait la pression de cet air si la surface était unie, et l'hydro-locomotive aura sensiblement un mouvement horizontal (*). Quant au travail de la résistance de

(*) Pour augmenter l'amplitude des dilatations et contractions des matelas d'air, on n'aura qu'à augmenter la profondeur des auges en diminuant les



de l'eau, il sera à très peu près le même; parce que l'air en se détendant rend toujours le travail absorbé par sa compression. Ainsi, une mer agitée par des vagues peu élevées, ce qui est le cas ordinaire, n'aura pas une influence sensible sur la marche de l'hydro-locomotive.

Dans le second cas où les vagues sont très hautes et très longues, la locomotive, que je suppose dans le cas le plus défavorable où elle aura à marcher contre les vagues, devra gravir ces vagues et descendre sur le penchant opposé. Elle gravira le penchant de ces vagues en vertu de la puissance motrice et de sa vitesse acquise. Elle éprouvera en montant une résistance plus grande que sur une mer unie; mais en descendant elle éprouvera une résistance moindre. Dans l'ascension elle perdra un peu de sa vitesse acquise; mais elle regagnera à la descente ce qu'elle aura perdu en montant. Il y aura à peu près compensation, et l'hydro-locomotive montant et descendant aura une vitesse variée dont la moyenne sera à peu de chose près la même que sur une mer unie.

Dans le troisième cas, lorsque la lame sera très courte et très haute, surtout lorsqu'elle se déferlera sous l'impulsion d'un vent puissant, il est plus que probable que l'hydro-locomotive ne pourra pas conserver la rapidité qui lui est nécessaire pour l'émergence. Dans ce cas, où l'ancien système est impuissant, il semble que l'hydro-locomotive ne présentera pas d'autre avan-

rayons des surfaces convexes des cylindres. Je crois que l'expérience démontrera l'utilité de cette modification qui sera encore avantageuse sous plusieurs autres rapports.

tage que celui d'avoir beaucoup moins à souffrir de l'agitation des flots, par suite de l'absence des mâts, ainsi que de son peu de densité, et de courir moins de risque d'être disloquée. Il lui reste néanmoins une ressource éminemment précieuse et qui tient à sa rapidité. Lorsque la mer deviendra trop mauvaise et que les vents contraires et les flots l'empêcheront de marcher rapidement dans sa route, il lui restera la faculté précieuse de revenir en arrière dans les parages où l'état de la mer a permis une course rapide. La rétrogradation sera d'autant plus facile et rapide, qu'elle sera favorisée par un vent favorable et fort, dont la vitesse s'ajoutera en grande partie à celle que l'hydro-locomotive aurait dans un air calme. Après avoir ainsi échappé à la tempête, la rapidité permettra, par un détour qui pourra être immense dans très peu de temps, de tourner les parages agités par la tempête. Alors l'expression de *fuir devant la tempête* qui, dans le système usité, est prise dans une acception bien différente de sa signification, deviendra littéralement vraie, et le vocabulaire de la marine renfermera, avec autant de véritable acception, celle de *tourner la tempête*.

CONVOIS MARINS.

J'ai fait subir aux hydro-locomotives destinées à la navigation des rivières, une transformation très simple qui les a rendues propres à devenir de simples véhicules remorqués.

La même transformation sera applicable aux hydro-locomotives maritimes. Dans ce cas les espaces qui séparent les cylindres

de chaque couple serviront à ménager des couloirs pour communiquer d'un wagon à l'autre. On aura ainsi un long couloir d'un mètre de large, établissant une communication entre tous les étages supérieurs des véhicules, depuis la locomotive qui est en tête du convoi jusqu'au dernier hydro-wagon.

Cette question présente une difficulté qui, au premier abord, paraît grande : Comment établir un système de liaison entre des véhicules flottant sur une mer agitée? La possibilité que l'on aura d'éviter les tempêtes, et, par suite, les vagues hautes, courtes et tumultueuses, simplifie considérablement la question. La pratique fournira sans doute des moyens meilleurs que celui que je vais exposer, et qui me paraît devoir atteindre le but.

Ce système de liaison consiste en un plancher en bois très flexible liant l'arrière du châssis d'un véhicule à l'avant du châssis du véhicule suivant. Ce plancher sera d'ailleurs utile pour la communication des étages supérieurs. Ce système présentera toutes les conditions nécessaires pour que les véhicules obéissent au mouvement vertical des vagues : En effet, il permettra la flexion verticale, et la torsion du train.

Quant à la flexion horizontale, favorable aux changements de direction du train, on l'obtiendra au moyen de quelques articulations verticales. Mais cette flexion ne sera pas indispensable dans des trains qui ne se composeraient au plus que de cinq véhicules, et qui ne dépasseraient pas 80 mètres de long. La pratique indiquera probablement qu'il suffira d'avoir une seule articulation entre l'hydro-locomotive et le premier wagon remor-

qué (*), pour obtenir des évolutions rapides et promptes. En effet, cette articulation permettra de faire incliner la direction de l'hydro-locomotive sur la direction du train, au moyen de deux chaînes latérales. Dès-lors la locomotive, se précipitant dans une nouvelle direction, fera rapidement tourner le train, quoique celui-ci soit rigide dans un sens horizontal. D'ailleurs les couronnes circulaires faisant l'office de quilles, empêcheront la dérive dans le sens de la vitesse acquise.

Ce système de liaison pourrait être très dangereux au milieu de vagues soulevées par une tempête. J'ai déjà établi que l'on pourra éviter cette circonstance défavorable, et bientôt je ferai voir que probablement ce sera toujours possible. Néanmoins, comme il faut prévoir comment on échappera aux accidents qui peuvent surgir dans les circonstances les plus fortuites, voici le moyen que l'on emploiera dans ce cas : On rompra les liaisons qui rattachent les véhicules les uns aux autres, et on y substituera de longues chaînes en fer. La locomotive produira toujours une traction suffisante pour maintenir les véhicules séparés, de manière que les vagues ne les précipitent pas les uns sur les

(*) Pour établir cette articulation, on pratiquera, à l'arrière du châssis de l'hydro-locomotive, une coulisse dans laquelle entrera à frottement doux le plancher adhérent au châssis de l'hydro-wagon remorqué. Un fort pivot, servant de clavette, servira à fixer ce plancher au châssis de la locomotive, en permettant la rotation du plancher autour du pivot. Deux chaînes latérales unissant la locomotive au wagon, serviront à incliner comme on voudra leur direction relative, par le moyen d'une traction; ce qui fournira, comme je l'ai démontré au sujet des trains des rivières, un moyen très simple et très avantageux pour les changements rapides de direction.

autres, et la pesanteur imprimera aux chaînes une courbure suffisante pour que les oscillations que les vagues imprimeront aux véhicules ne produisent pas sur les chaînes des tractions brusques capables de les rompre. On emploiera au besoin des ressorts puissants pour amortir ces tractions.

L'emploi des trains remorqués permettra de réduire considérablement le poids de l'hydro-locomotive, en réduisant sa charge au seul moteur. Il donnera la faculté de doubler, de tripler, si on veut, la puissance du moteur, et d'obtenir en même temps dans le transport, une économie très grande, et une augmentation considérable de vitesse. Ainsi, le premier hydro-wagon portera les provisions de combustible pour une très longue traversée, et les autres seront chargés de marchandises et de passagers. Je n'insiste pas sur ces avantages, car je répéterais ce que j'ai déjà dit au sujet des trains destinés au parcours des fleuves et des rivières.

SÉCURITÉ DU NOUVEAU SYSTÈME APPLIQUÉ A LA NAVIGATION MARITIME.

Il n'y a pas une cause d'accidents dans le système usité qui ne paraisse devoir être conjurée dans le nouveau système.

Tout écueil qui ne sera pas visible n'offrira aucun danger pour des véhicules qui raseront la surface de la mer.

Les nouveaux véhicules sont pour ainsi dire insubmersibles. Pour couler bas, il faudrait que les quatre enveloppes cylindri-

ques et le fond de la caisse fussent déchirés ; ce qui raisonnablement n'est pas à craindre.

Si un cylindre éprouve une avarie, le véhicule flottera sur les autres cylindres et sur la caisse. Le réparation sera on ne peut plus facile, car les enveloppes cylindriques sont très facilement accessibles dans toutes leurs parties à l'intérieur et à l'extérieur (*).

Ainsi que je l'ai développé dans la question de stabilité, les véhicules auront peu à souffrir de l'agitation des vagues. En effet, étant dépourvus de mâts et d'agrès; leur centre d'inertie étant très près du centre de gravité; leur densité et leur tirant d'eau étant très faibles; ces véhicules résisteront facilement aux plus fortes tempêtes.

La cause de sécurité la plus importante, c'est que lon pourra toujours éviter les tempêtes; la raison en est évidente. Dans l'air calme, la vitesse des véhicules sera égale à la vitesse de propagation des violentes tempêtes; et lorsqu'on voudra fuir une tempête, un vent favorable viendra augmenter la vitesse de fuite d'une fraction considérable de la vitesse du vent.

Quant à la vitesse des vagues, elle est incomparablement moindre que celle du vent, et la mer gonfle peu à peu sous l'action des vents puissants.

Ainsi, si la tempête se déclare à l'avent, le pilote, par une marche oblique, cherchera à la tourner. S'il voit que la tempête

(*) Un trou d'homme sera ménagé près de l'axe de chaque cylindre, dans une des bases.

gagne, il augmentera de plus en plus l'obliquité de la marche, jusqu'à fuir au besoin devant la tempête.

Il est certain que presque jamais il ne sera nécessaire d'avoir recours à ce dernier moyen, et que, par une marche oblique, il parviendra presque toujours à tourner la tempête.

J'ai considéré le cas le plus défavorable ; celui où la tempête s'est déclarée sur l'avant : Or il est des signes qui annoncent ordinairement bien à l'avance aux marins l'approche d'une tempête. Dès-lors, il sera bien facile de l'éviter par un détour très grand, exécuté en très peu de temps, détour qui éloignera très peu le pilote de sa route.

Il résulte de ce que je viens d'exposer qu'un pilote ne pourra être surpris par une tempête, qu'autant que celle-ci se déclarerait sur tous les points de l'horizon. Je ne crois pas que ce cas se présente : je pense qu'il est impossible.

Dans le nouveau système, le meilleur port de mer sera une de ces grèves sablonneuses si communes sur les côtes maritimes, et qui, redoutables dans le système usité, seront extrémement avantageuses dans le nouveau système. Les nouveaux véhicules pourront sans inconvénient venir échouer sur ces grèves, poussés hors de l'eau par le moteur et par la puissance vive. L'on échappera ainsi au danger que le ressac, si violent dans certaines mers, présente pour le débarquement des passagers et des marchandises.

Enfin je rappellerai que les nouveaux véhicules, rasant la surface des eaux, pourront remonter les rivières très peu profondes, où ils trouveront des moyens de débarquement beau-

coup plus faciles, et un refuge beaucoup plus sûr que dans les meilleurs ports de mer. En d'autres termes, *toutes les villes situées sur le litoral des fleuves et des rivières deviendront des ports de mer offrant une sécurité absolue.*

DE L'INFLUENCE DES COURANTS D'AIR SUR LA MARCHE DES HYDRO-LOCOMOTIVES ET DES CONVOIS MARITIMES.

La résistance de l'air étant prépondérante dans le nouveau système; on devra chercher des vents favorables à la marche. Un vent sera indifférent quand il soufflera perpendiculairement à la direction de l'hydro-locomotive. Il sera favorable ou contraire, suivant qu'il inclinera vers l'arrière ou vers l'avant.

Il sera presque toujours possible, du moins sur les Océans, d'éviter les vents contraires. L'extrême rapidité des hydro-locomotives facilitera singulièrement cette tâche.

Il y a deux espèces de vents : les vents irréguliers et accidentels et les vents permanents ou périodiques.

Les vents accidentels soufflent presque toujours dans une aire d'une médiocre largeur. Ils produisent toujours des remous ou contre-courants. On sera donc toujours sûr, dans les mers d'une grande étendue, de sortir en très peu de temps, par une marche oblique, de l'aire d'un vent accidentel contraire, et de rencontrer bientôt le remous qui sera un vent favorable.

Quant aux vents permanents ou périodiques, leur aire est beaucoup plus étendue. Mais leur existence étant connue, on les recherchera quand ils seront favorables, et on les évitera quand

ils seront contraires. Pour plus de clarté je vais prendre un exemple.

Je suppose qu'il s'agit de la traversée de Paris à New-Yorck, et réciproquement. On sait que les vents régnants dans les latitudes un peu élevées de l'Océan Atlantique, sont les vents du nord-ouest qui sont dus au déversement de l'air dilaté des régions équinoxiales, et à la rotation de la terre. Ces vents sont favorables pour la traversée de New-Yorck à Paris, et défavorables au trajet contraire.

On sait aussi que dans les régions équinoxiales règnent les vents alisés qui soufflent de l'est, et qui sont favorables à la traversée de l'Océan Atlantique lorsqu'on veut aller de l'ancien continent au nouveau. Ces vents sont dus à l'aspiration qui a lieu dans l'air des régions équinoxiales et au mouvement de rotation de la terre.

Celà posé, quand on voudra aller de New-Yorck à Paris, on fera le trajet direct, et on aura toujours des vents favorables, en évitant les vents accidentels contraires par de faibles détours.

Quand, au contraire, on voudra aller de Paris à New-Yorck, après avoir descendu la Seine, on se dirigera vers les Canaries, en profitant des vents régnants du nord-ouest qui seront favorables et on tendra vers l'équateur, jusqu'à ce qu'on ait rencontré les vents d'est, ou du moins les calmes des régions équinoxiales. On traversera l'Océan à peu près à la hauteur de la Floride, et ensuite, abrité par la côte des États-Unis que l'on rasera de très près, on remontera jusqu'à New-Yorck.

Sans doute on aura fait un grand détour ; mais la vitesse des

vents favorables s'ajoutant en grande partie à la vitesse que l'hydro-locomotive aurait dans un air calme, fera plus que compenser la perte de temps occasionnée par ce détour.

Dans certains cas qui se présenteront fréquemment dans les détroits et dans les mers Méditerrannées, il faudra marcher contre le vent. Si le vent est très fort et directement contraire, il semble au premier abord que la vitesse de l'hydro-locomotive sera diminuée de toute la vitesse du vent contraire, et qu'elle ne pourra pas conserver la rapidité qui est nécessaire à l'émergence. Il n'en sera pas ainsi : Elle ne perdra qu'une partie de la vitesse du vent contraire. Celà tient à ce que le moteur peut donner en augmentation de force impulsive une fraction égale à celle qui exprime la diminution de la vitesse. En supposant que l'hydro-locomotive soit susceptible d'une vitesse de vingt lieues dans un air calme, le calcul fait voir qu'elle conservera une vitesse de quatorze lieues en marchant contre un vent directement contraire de dix lieues à l'heure (*). Nous avons vu que cette vitesse est suffisante pour une émergence presque complète.

(*) Je représente par x le nombre de mètres qui exprime la vitesse de l'hydro-locomotive avec un vent directement contraire de 10 lieues à l'heure ou de 11 mètres par seconde, et par R la résistance de l'air correspondant à cette vitesse qui, relativement à l'air, sera égale à $x + 11$. En rappelant que la résistance de l'air, pour une vitesse de 22 mètres est égale à 408 kilogrammes, on aura les deux équations :

$$\frac{(x + 1)^2}{22^2} = \frac{R}{408}$$

$$R\,x = 408 \times 22.$$

Éliminant R, on obtient l'équation du troisième degré,

$$x^3 + 22\,x^2 + 121\,x - 10648 = 0$$

Cette équation

Ces considérations font voir qu'en somme les vents seront favorables à la rapidité de la navigation dans le nouveau système, puisqu'elles établissent qu'on pourra en général éviter les courants d'air nuisibles à la marche, et aller chercher ceux qui sont favorables.

MOYEN SERVANT A MESURER LA VITESSE DE L'HYDRO-LOCOMOTIVE ET LE CHEMIN PARCOURU A CHAQUE INSTANT.

Il est très important dans la navigation de connaître à chaque instant la position de l'endroit où on se trouve, afin de savoir quelle est la direction qui conduit au but que l'on veut atteindre. En outre des moyens usités dans l'ancien système, les hydrolocomotives fourniront un procédé extrêmement précieux par sa simplicité et par sa précision. Les cylindres se déroulant sur la surface des eaux, le nombre de tours que l'on pourra déterminer exactement au moyen d'un appareil d'horlogerie mu par la rotation des axes et la direction de la marche fourniront un moyen pour pointer la carte. L'influence des courants marins sera négligeable devant la rapidité de la marche et le peu de durée des traversées; de sorte que ce procédé sera aussi précieux par sa précision que par sa simplicité.

Cette équation a une seule racine positive comprise entre 15 et 16.

Ainsi, la vitesse dépassera un peu celle de 15 mètres par seconde ou de 14 lieues à l'heure, ainsi que je l'ai affirmé.

Je n'ai pas tenu compte de la variation de la résistance de l'eau, parce que cette résistance est déjà très faible avec une vitesse de 14 lieues à l'heure, comme nous l'avons vu.

DES MOYENS A EMPLOYER POUR UTILISER, DANS LES DIFFÉRENTES VITESSES, LA DÉTENTE DE LA VAPEUR FOURNIE PAR LE GÉNÉRATEUR.

Dès l'instant où les courants d'air doivent faire varier considérablement la vitesse de l'hydro-locomotive, il faut chercher un moyen qui permette de tirer tout le parti possible de la vapeur que peut fournir le générateur.

Le moyen le plus avantageux me paraît devoir consister dans l'emploi de deux paires de cylindres moteurs de capacité inégale, agissant, l'une sur les manivelles des cylindres-roues de l'avant, et l'autre sur celles des cylindres-roues de l'arrière. Telle est la disposition que j'ai représentée fig. 7.

La capacité de ces cylindres sera calculée d'après les conditions suivantes : La plus forte paire, employée dans l'air calme, dépensera la vapeur produite en fournissant trois coups simples de piston par seconde (20 lieues à l'heure).

La plus faible, employée avec un vent favorable, utilisera toute la vapeur en donnant quatre coups et demi simples de piston (30 lieues à l'heure). Enfin, les deux cylindres travailleront simultanément dans les vents contraires, en utilisant toute la détente de la vapeur fournie par le générateur.

Dans les deux premiers cas, il n'y aura qu'une paire de cylindres-roues qui rempliront le rôle de propulseurs, à moins qu'on ne juge utile de rendre solidaire la rotation des deux pai-

res de cylindres-roues, au moyen de deux bielles, comme je l'ai figuré dans le plan de l'hydro-locomotive destinée au parcours des rivières.

L'emploi d'une détente variable de la vapeur, et la faculté de pouvoir augmenter ou diminuer l'activité de la combustion, complèteront les moyens par lesquels le pilote conducteur pourra toujours tirer le meilleur parti possible de la vapeur fourni par le générateur.

L'emploi de deux paires de corps de pompe sera utile dans le mouvement initial, pour dépasser le vitesse du *maximum de résistance de l'eau.* On pourra encore avoir recours au besoin, à l'action de la vapeur sans détente.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LE NOUVEAU SYSTÈME DE NAVIGATION.

Le nouveau système de navigation est un vol à la surface des eaux.

La navigation atmosphérique est un problème que l'homme s'est posé dès l'antiquité la plus reculée. La vue des évolutions rapides des oiseaux a de tout temps excité son envie. Jusqu'ici toutes les tentatives ont échoué, et il devait en être ainsi. Au reste, la nature n'a doué de cette précieuse faculté que des êtres d'un poids très faible.

Pour voler au milieu des airs à l'aide d'un appareil, il faudra produire artificiellement dans ce fluide des différences de pression se réduisant à deux forces : l'une agissant de bas en haut, ca-

pable de détruire à chaque instant le travail du poids de l'appareil, l'autre agissant horizontalement avec une intensité dépendante de la forme et de l'étendue des surfaces, ainsi que de la vitesse qu'on voudra obtenir.

La facilité avec laquelle l'air se dérobe devant les surfaces qui se meuvent dans ce fluide, rend ces différences de pression excessivement faibles. Ainsi il faut une vitesse de dix mètres par seconde pour produire, devant une surface plane, une condensation d'un millième d'atmosphère.

Quelle étendue de surface et quelle rapidité de mouvement ne faudrait-il pas pour soutenir en l'air un appareil d'un poids nécessairement considérable, et pour vaincre la résistance que l'air offrirait sous une vitesse horizontale qui, pour être suffisante, devrait être nécessairement très grande ! Combien serait faible la fraction du travail moteur que le propulseur convertirait en travail utile !

Lorsque dans des conditions données, on calcule le travail moteur nécessaire pour résoudre le problème, on demeure convaincu que sa solution est impossible dans l'état actuel de la mécanique, et qu'il faut attendre que l'homme ait à sa disposition une puissance procurant, à poids égal, vingt fois plus de travail que les moteurs actuels à vapeur.

L'homme audacieux, mais compétant, qui entreprend la solution de ce problème, recule devant cet obstacle : il dirige bientôt son activité d'un autre côté, convaincu que le moment n'est pas encore venu.

Je connaissais toute la difficulté de ce problème, lorsque je

reconnus avec un profond étonnement, que, sans la chercher, j'en avais trouvé une solution. C'est une solution peu ambitieuse et terre à terre; mais le résultat n'en sera pas peu avantageux. Elle est d'ailleurs conforme à la marche ordinaire de l'homme dans la voie du progrès.

Lorsqu'une voie inexplorée apparaît hérissée de difficultés, des hommes ardents s'élancent pour la frayer. Plus courageux que forts, ils succombent à la tâche; jusqu'à ce qu'il s'en trouve un plus heureux que les autres qui, le plus souvent, par l'effet du hasard et sans le chercher, trouve un passage secret dans lequel il n'a qu'à marcher, suivi par la multitude étonnée d'avoir été si longtemps arrêtée par une barrière si facile à franchir.

Le système de navigation que je viens d'exposer est en effet un véritable vol. Pour en être convaincu, il suffit de remarquer que le véhicule est enveloppé d'air de toute part, et qu'une différence de pression très grande, agissant sur une petite surface, détruit à chaque instant le travail du poids du véhicule.

L'air qui se dérobe avec tant de facilité devant les surfaces qui cherchent à trouver un appui dans ce fluide, est emprisonné dans des auges entre la surface inférieure des cylindres et la surface supérieure de l'eau. Il est ainsi mis dans l'impossibilité de se dérober, et forcé de prêter une résistance énergique. En effet, pour fuir, il serait forcé de déplacer une masse considérable d'un fluide incompressible 760 fois plus dense que lui.

L'air comprimé chasserait sans doute devant lui le fluide qui résiste par son inertie et en vertu d'autres propriétés encore plus efficaces; mais la rapidité du véhicule est si grande, et le

déplacement initial d'un corps partant du repos sous l'action d'une force impulsive est si lent, que la pression a fini avant que le déplacement de la masse liquide soit devenu appréciable.

Que l'on considère le mouvement initial d'un train de chemin de fer, ou d'une voiture, ou d'un corps qui tombe, et on concevra, même sans aucune notion de mécanique, la vérité du principe. On comprendra que, si on pouvait mesurer l'espace parcouru au bout d'un vingt-deuxième de seconde, on trouverait un déplacement bien plus inappréciable que la durée de l'instant considéré.

Ainsi, dès l'instant qu'il est établi que le véhicule est environné d'air de toute part; qu'une différence de pression détruit à chaque instant le travail du poids du véhicule; qu'il n'y a pas de déplacement d'eau sensible; qu'aucune surface ne glisse contre l'eau, il est incontestable que le nouveau système de navigation est un vol véritable.

Cela posé, deux caractères éminemment remarquables et avantageux distinguent ce vol et le rendent praticable avec les moteurs actuellement connus. Le premier, c'est que le travail du poid du véhicule est détruit sans dépense sensible de travail moteur; car l'air, en se détendant, restitue le travail qu'il a absorbé en se comprimant. Il en est comme des chemins de fer, où le poids des véhicules est détruit par la résistance des rails. Seulement, il y a une adhérence sur les rails, tandis qu'il n'y en a pas sur un matelas d'air comprimé. Le second, c'est que le travail moteur est employé presque sans perte, à vaincre la résistance que l'air offre au mouvement horizontal d'un véhicule qui a un faible

volume, et une forme très favorable : c'est-à-dire qu'un propulseur presque parfait, convertit le travail moteur en travail utile.

Sans entrer dans de nouveaux développements sur un sujet qui a déjà été traité avec assez de détail, je me crois en droit de conclure en rappelant cette proposition déjà énoncée :

Le nouveau système de navigation est un véritable vol à la surface des eaux, et un vol effectué dans les conditions les plus favorables.

Veut-on apprécier la portée de cette découverte, on n'a qu'à jeter ses regards sur un globe terrestre artificiel : On remarque au premier coup d'œil que les mers ont une bien plus grande étendue que les terres; qu'elles entourent les continents, et pénètrent profondément dans leur intérieur.

On voit ensuite des multitudes de cours d'eau qui débouchent dans les mers, et se raméfient dans l'intérieur le plus reculé des terres. Ces cours d'eau qui souvent s'épanouissent en larges napes, forment un réseau très-serré enveloppant en quelque sorte toutes les contrées habitables du globe. Avec les mers, ils constituent les trois quarts de sa surface. Il n'y a pas une vallée un peu considérable qui ne soit parcourue par un cours d'eau, et l'importance de chaque cours d'eau paraît proportionnée à celle de la vallée qu'il arrose.

Si, comme j'en suis convaincu, le nouveau sytème permet de voler à la surface des eaux avec la rapidité de l'hyrondelle, malgré les obstacles qui arrêtent la navigation actuelle, ces cours d'eau et les mers qui les relient, constituent un système de voies de

communication tout formé par la nature, et aussi parfait que l'imagination la plus féconde aurait pu le rêver. Dès lors le vol à la surface des eaux fournira aux hommes le moyen le plus efficace et le plus puissant, pour prendre possession de la planète sur laquelle ils se sont mus jusqu'ici avec tant de difficulté. Par lui les populations civilisées, manquant d'espace dans des pays qui ne forment pas la dixième partie de la surface habitable, se répandront dans des contrées fertiles qui, maintenant inabordables et presque inconnues, seront considérées comme des colonies voisines avec lesquelles les relations seront aussi faciles que rapides.

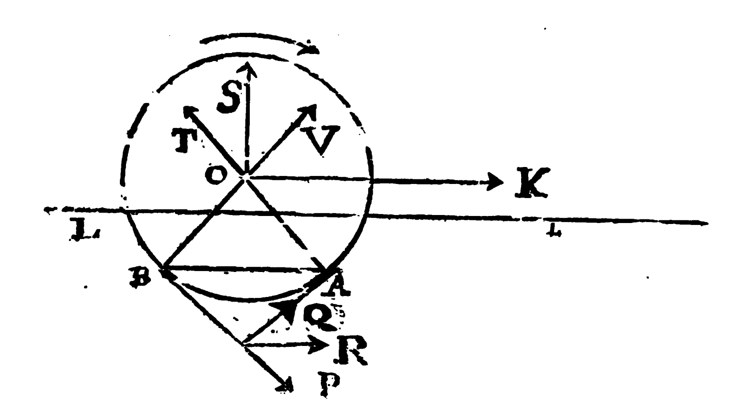
SECONDE DÉMONSTRATION DU PRINCIPE FONDAMENTAL.

Les ingénieurs et les savants en général, pénètrent au fond des questions sans s'arrêter à la surface. Pour eux un principe est tout, les détails et les procédés sont tout à fait accessoires. Le principe de l'émergence qui fournit la possibilité d'échapper à la loi du carré de la vitesse, en procurant un moyen pour avancer sur l'eau sans déplacer ce liquide, est un principe d'une supériorité incontestable, et qui sera incontestée. Une démonstration rigoureuse de ce principe entraîne le gain de la cause auprès des arbitres de la science.

Je leur adresse plus spécialement une seconde démonstration que je crois aussi rigoureuse qu'une théorie de géométrie, et qui établit que trois séries de puissances concourent à faire émerger les cylindres propulseurs. Ces trois séries de forces sont : 1° les

frottements de l'eau ; 2° les frottements de l'air ; 3° les pressions inégales du liquide sur les éléments immergés de la surface cylindrique.

La figure ci-jointe représente une section perpendiculaire à l'axe d'un cylindre flottant sur l'eau et formé de couches concentriques homogènes. Dans ces conditions, le mouvement de translation de cette section soumise à des forces agissant dans son plan, sera le même que si toutes ces forces étaient transportées au centre parallèlement à elles-mêmes.



Celà posé, je suppose que L soit la ligne de flottaison, et que l'on imprime à la section un mouvement de rotation dans le sens de la flèche courbe. L'eau exercera sur les éléments de l'arc immergé, des frottements qui seront des forces tangentielles agissant en sens contraire de la rotation. Ces forces, que l'on peut rendre considérables au moyen d'aspérités ou de saillies, donnero t une résultante que nous pouvons considérer comme ap-

pliquée au centre, et dont l'effet sera un mouvement de translation dans le sens de la flèche OK. Je ne m'arrête pas à la démonstration trop facile de ce fait qui ne sera pas contesté. C'est le cas d'une roue qui avance quand on la fait tourner.

Ainsi un mouvement de rotation imprimé au cylindre par une force continue, engendre un mouvement de translation. Je vais considérer ce qui advient dans ces conditions.

Je considère deux éléments A et B du segment immergé, situés à égale distance de la ligne de flottaison. Si le frottement Q exercé sur l'élément A, était égal au frottement P agissant sur l'élément B, ils donneraient une résultante horizontale R, puisque ces frottements sont également inclinés sur l'horizon. Mais le frottement exercé sur l'élément A situé sur la moitié antérieure de l'arc immergé, est plus grand que le frottement exercé sur l'élément B (*). Dès lors la résultante doit être plus rapprochée de la direction du frottement Q, et étant transportée au centre, elle peut être remplacée par une composante dirigée suivant OK, qui

(*) Dans le mouvement du cylindre, le frottement exercé sur l'élément A est plus grand que le frottement exercé sur l'élément B. En effet, il est admis en mécanique, d'après des expériences, que le frottement d'un liquide coulant sur la surface d'un corps solide, est proportionnel à la vitesse relative du liquide. Or, pour les molécules d'eau qui sont en contact avec le cylindre, le frottement est une force accélératrice qui agit pendant tout le temps où il y a contact. Il s'ensuit donc qu'une molécule située en A a été soumise à cette force accélératrice moins longtemps qu'une molécule située en B. Donc la première molécule doit avoir une vitesse absolue moindre que la seconde, et, par suite, la vitesse relative de celle-ci doit être moindre que la vitesse relative de celle-là. En d'autres termes, le glissement de la molécule B, doit être moins rapide que celui de la molécule A. Donc le frottement de la molécule A est plus grand que celui de la molécule B. Au lieu de

est employée au mouvement horizontal de translation, et par une composante dirigée suivant la verticale OS, dont l'effet est de faire émerger la section.

Ainsi, en considérant les frottements qui ont lieu sur les éléments équidistants de la ligne de flottaison, on voit que ces frottements, pris deux à deux, donnent lieu à des composantes verticales dirigées de bas en haut, et qui toutes ont pour effet de faire émerger le cylindre, chacune de ces composantes travaillant en sens contraire de la pesanteur.

Ainsi la rotation des cylindres a pour effet de produire un mouvement horizontal de translation, et de produire des inégalités de frottement d'où résulte une certaine émergence.

En second lieu, par suite de ce double mouvement, l'air se trouve plus condensé sur la surface antérieure du cylindre que sur les points correspondants de la surface postérieure. Il résulte de là que les frottements de l'air sur les éléments de la surface antérieure, sont plus considérables que les frottements exercés sur les éléments correspondants de la surface postérieure (*); d'où

molécules, on peut considérer de petites masses d'eau appuyées contre le cylindre, ou, si on veut, des filets horizontaux en contact avec sa surface. S'il y a des saillies, les petites masses d'eau qui seront poussées devant ces saillies, résisteront par leur inertie, dans le mouvement initial, c'est-à-dire lorsqu'elles se trouveront devant la partie antérieure de l'arc immergé, et l'effet de ces masses sur l'émergence, sera encore plus marqué que dans le cas précédent. Dans ce cas, il faudra éviter le soulèvement de ces masses en arrière du cylindre, ce qui sera facile à cause de la force centrifuge. Il y aura toujours un soulèvement de ces masses provenant de leur vitesse acquise; mais ce soulèvement ne sera pas nuisible à l'émergence.

(*) Le frottement de l'air augmente avec sa densité. Cela résulte d'une foule d'expériences de balistique, et explique l'influence de la rotation des

résultent une deuxième série de puissances qui, comme les précédentes, ont pour effet une certaine émergence. La démonstration est la même que dans le cas précédent.

Enfin le mouvement de translation produit une troisième série de forces qui, relativement à l'émergence, produisent un effet prépondérant. En effet, quand le cylindre n'a pas de mouvement de translation, sa surface immergée éprouve en tous ses points des pressions normales, dont la résultante appelée poussée du liquide, est égale, contraire, et directement opposée au poids du corps. Ainsi sur les éléments A et B, agissent deux pressions normales T et V, égales et ayant une résultante verticale S.

Mais lorsque le mouvement de translation s'accélère, la pression T augmente et la pression V diminue. Or la pression T croît d'une quantité à peu près proportionnelle au carré de la vitesse, et, quoique la pression V aille en diminuant, la résultante de

projectiles sur leur trajectoire. On est parvenu à perfectionner considérablement la justesse du tir, en évitant la rotation que le projectile pouvait contracter dans l'âme de la pièce, ou en lui imprimant un mouvement de rotation autour d'un axe dirigé dans le sens du mouvement (carabines rayées). Voici au reste un passage extrait du tome 2 de la mécanique de Poisson, deuxième édition, page 205, qui constate le fait que je veux établir.

« Dans le tir horizontal, et en supposant que le boulet tourne autour d'un » axe horizontal, perpendiculaire à la direction du tir, le frottement du » projectile contre l'air augmentera son poids et diminuera la portée, lors- » que la partie antérieure de ce corps tournera de bas en haut; et quand » cette partie tournera de haut en bas (c'est le cas du cylindre propulseur), « le frottement diminuera le poids et augmentera la portée. Il pourrait » même arriver, dans ce second cas, que la trajectoire devînt convexe vers » le terrain : Il suffirait, pour cela, que la rotation fût assez rapide.... »

ces pressions peut augmenter indéfiniment avec la vitesse de translation ; en même temps cette résultante s'incline vers la direction OT. Si la résultante peut croître indéfiniment, il en est de même de sa composante verticale. Ainsi la vitesse augmentant, la composante verticale des pressions T et V augmentera très-rapidement, et tendra à faire émerger de plus en plus la section. Il en sera ainsi tant que l'élément A n'aura pas émergé.

Ce que je viens de dire pour les pressions exercées par le liquide aux points A et B, s'applique à tous les éléments équidistants deux à deux de la ligne de flottaison. On voit donc que les pressions que le liquide exerce dans le mouvement de translation, donnent une résultante dont la composante verticale peut être égale au poids du cylindre, quoique celui-ci déplace un poids d'eau inférieur à son propre poids.

Les hommes spéciaux qui connaissent la rapidité d'accroissement de la résistance de l'eau aux surfaces qui ont un mouvement progressif dans le liquide, admettront qu'il ne faudra pas une vitesse excessive pour produire une émergence presque complète. Pour convaincre ceux qui ne se sont pas occupés d'hydraulique, il me suffira de citer la lenteur de la marche des bateaux à vapeur qui remontent une rivière rapide, et la poussée extraordinaire que les vagues de la mer exercent sur les parois d'un vaisseau, poussée capable de faire craquer la puissante charpente qui les soutient, quoique la vitesse des vagues ne soit jamais bien grande.

J'ai supposé que la translation avait lieu sans mouvement de rotation. Celà est évidemment permis, car le mouvement de

rotation n'influe pas sur les poussées du liquide, autrement que par les frottements dont j'ai tenu compte.

Il résulte de cette théorie, *qu'un mouvement de rotation imprimé à un cylindre flottant sur l'eau, et ayant son axe horizontal, a pour effet de produire un mouvement de translation, et que, de ce double mouvement, résultent trois séries de puissances concourant à faire émerger le cylindre.*

Tandis qu'un mouvement de rotation est imprimé aux cylindres propulseurs, une traction agit sur les axes des cylindres-roues, tels que ceux qui doivent porter les hydro-wagons. Alors la traction produit un mouvement de translation, duquel résulte un mouvement de rotation. Dans ce cas les frottements de l'eau seront très-faibles, puisque les cylindres tourneront librement autour de leur axe, et l'effet des frottements de l'eau sera insensible. Cet effet serait d'ailleurs contraire à l'émergence; mais les deux autres causes feront émerger le cylindre comme dans le cas précédent.

La théorie indique dans ce cas une émergence un peu moindre que dans les cylindres propulseurs. L'expérience décidera si on doit rejeter l'emploi des cylindres remplissant uniquement le rôle de roues. Leur rejet ne détruirait en rien les avantages du nouveau système; car au lieu d'employer des trains composés d'hydro-wagons remorqués par une hydro-locomotive puissante, on formerait des convois d'hydro-locomotives à moteurs plus faibles, dont la somme des puissances serait égale à la puissance du moteur unique, et la somme du poids de tous ces moteurs ne dépasserait pas le poids du moteur appliqué au remorqueur.

DES DIFFÉRENTS SYSTÈMES AUXQUELS L'ON PEUT APPLIQUER LE PRINCIPE DE L'ÉMERGENCE.

Les systèmes auxquels peut s'appliquer le principe de l'émergence me paraissent se réduire à trois.

Le premier, que je désigne par l'expression de *glissement sur l'eau*, consiste à donner au fond plat d'un bateau, la position d'un plan incliné plongeant de l'avant à l'arrière. On arrivera à ce résultat au moyen de l'arrimage. La résistance de l'eau au mouvement produit par une force impulsive, donnera une multitude de composantes verticales qui produiront l'émergence. Ce système me paraît trop défectueux pour que je m'y arrête.

Les deux autres auquels je donne les dénominations de *roulement sur l'eau* et de *vol à la surface* de ce liquide, diffèrent en ce que, dans le second, un matelas d'air est interposé entre les cylindres et la surface de l'eau.

J'ai décrit avec assez de détails le dernier de ces deux systèmes qui me paraît de beaucoup le plus avantageux (*).

(*) Je regrette de n'avoir pas donné au lecteur, au moyen d'une épure, une idée exacte du mouvement cycloïdal des auges des cylindres. L'épure qui aurait indiqué les positions successives de la section d'une auge correspondant à celles de l'axe d'un cylindre, aurait fait ressortir combien ce mouvement est avantageux. Le lecteur qui serait curieux de connaître ce mouvement, pourra suppléer avantageusement à l'épure, en découpant un cercle en carton figurant la section du cylindre, en dessinant sur le bord la section d'une auge, et en faisant rouler le cercle sur le côté d'une règle appliqué sur une table. Il pourra vérifier les résultats suivants :

En supposant que l'axe ait un mouvement uniforme, la vitesse de l'auge

Toutefois le roulement sur l'eau me paraît mériter d'être expérimenté, surtout pour les cylindres qui ne doivent pas servir de propulseurs, tels que les cylindres des hydro-wagons. Dans ces cylindres les palettes seront supprimées : il ne doit pas en être de même des couronnes circulaires limites.

Une expérimentation qui sera peu coûteuse, puisque le même moteur servira dans tous les cas, me paraît devoir porter aussi sur les cylindres propulseurs. Je vais entrer dans quelques détails à ce sujet.

Dans le roulement sur l'eau, il faut que ce liquide offre une grande résistance au mouvement de rotation des cylindres propulseurs, puisque c'est cette résistance qui produit le mouvement de translation et par suite l'émergence. On ne devra pas employer des palettes adhérentes aux surfaces des cylindres, elles auraient pour effet, comme je l'ai déjà dit, de soulever des masses considérables d'eau à l'arrière des cylindres, ce qui n'aura pas lieu dans le vol sur l'eau. Mais on pourra employer des palettes soutenues par les couronnes circulaires, à une distance de plusieurs centimètres en dehors des surfaces convexes des cylindres, laissant un intervalle qui les sépare de ces surfaces. On donnera à ces palettes une inclinaison telle, qu'elles s'ap-

est maximum et double de celle de l'axe, lorsqu'elle est au point culminant de sa course. Cette vitesse diminue à mesure que l'auge descend en se renversant de plus en plus. et elle est nulle quand elle arrive tout-à-fait renversée à sa position la plus basse. Le lecteur pourra voir ainsi la confirmation de plusieurs faits importants que j'ai avancés dans la théorie du propulseur.

pliquent presque à plat sur l'eau au moment de leur immergence en avant, et qu'elles émergent en arrière dans une position presque verticale. Cette disposition me paraît tout à fait digne d'être expérimentée, car elle est éminemment favorable à l'émergence, et elle est de nature à ne pas soulever l'eau en arrière.

En effet, ces palettes appuyant presque à plat sur l'eau au moment de l'immergence, elles trouveront dans la résistance d'inertie de l'eau, un appui qui fera émerger le cylindre. Car la poussée sera presque verticale.

A mesure que les palettes reculeront vers l'arrière, elles s'inclineront de plus en plus, et la résistance de l'eau deviendra de plus en plus oblique, de sorte qu'elle pourra être décomposée en deux forces, l'une horizontale qui fera avancer le cylindre, et l'autre verticale qui le fera émerger. La composante horizontale ira en augmentant jusqu'au moment de l'émergence de la palette qui sortira dans une position presque verticale, et la composante verticale ira en diminuant.

Dans cette disposition des cylindres propulseurs, on pourra probablement supprimer les enveloppes convexes des cylindres, ainsi que les bases ; dès-lors les cylindres propulseurs se réduiront à des roues à aubes, dont les palettes planes ou courbes, seront maintenues entre des couronnes circulaires ; seulement ces aubes seront inclinées sur les rayons des cylindres, de manière à s'appuyer presque à plat sur l'eau au moment de l'immergence, et à émerger dans des positions presque verticales :

dans ces conditions, le véhicule au repos, flottera entièrement sur sa caisse.

La vitesse du mouvement cycloïdal des aubes, et la force centrifuge, feront que l'eau se séparera avec la plus grande facilité des aubes, et qu'elle ne sera pas soulevée en arrière. On favorisera cet effet en couvrant ces aubes d'un enduit gras qui, en les préservant de l'oxidation, préviendra l'adhérence de l'eau. En cela on imitera la nature qui a couvert les oiseaux plongeurs et les poissons, d'une huile grasse qui les empêche d'être mouillés.

Je m'arrête dans cette description que les lecteurs auront trouvé sans doute un peu longue. Je regarde ma première tâche, celle des études théoriques, comme terminée. Il me reste à remplir la seconde, si toutefois elle m'est réservée.

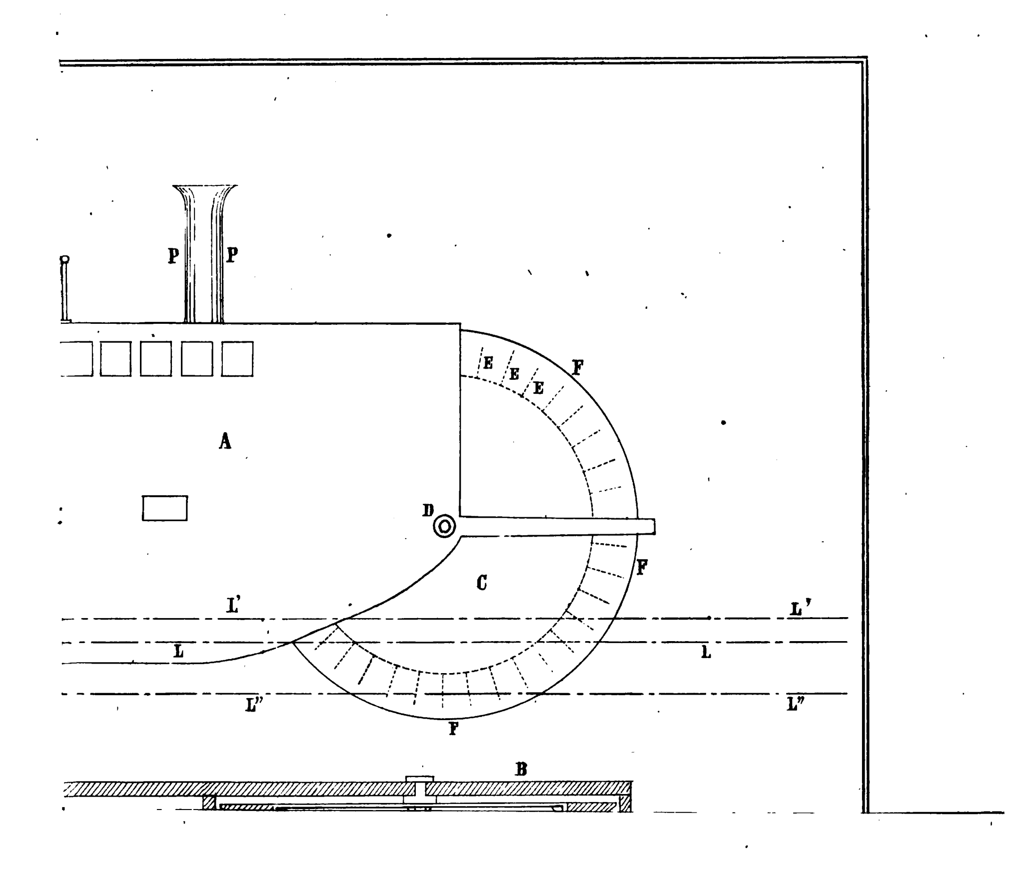
Grâce à l'appui d'une personne aussi distinguée par son érudition profonde, que par la haute position qu'elle occupe, j'ai espéré pendant quelque temps que je verrais sanctionner par l'expérience, la justesse des vues théoriques que je viens d'exposer. Je désirerais témoigner publiquement la profonde reconnaissance que je garde pour un puissant et bienveillant appui. Mais c'est un droit que je croirai avoir dans le cas seulement où un éclatant succès suivra une expérimentation du système.

Si, comme je l'espère, ce travail procure au système des partisans qui rendent possible une expérimentation, sur les bons résultats de laquelle je compte, je devrai l'honneur qui

en résultera pour moi, aux encouragements de quelques hommes compétents dans la matière. Je serai heureux de le leur faire partager, et ce sera d'autant plus juste, que ces encouragements ont pu seuls me soutenir, dans l'état d'isolement complet dans lequel j'ai rédigé ce travail.

FIN.

Errata. — Page 62, ligne 21, — 138, *lisez :* 118.
— 92, dans la figure, au lieu de *P* de gauche, *lisez B*.


P
P
E
E
E
F
A
D
C
F
L'
L'
L
L
L"
L"
F
B

